

## Document Summary



New  
Search



Help

[Preview Claims](#)

[Preview Full Text](#)

[Preview Full Image](#)

Email Link: 

**Document ID:** JP 08-251105 A2

**Title:** WAVELENGTH MONITOR DEVICE

**Assignee:** NIPPON TELEGR & TELEPH CORP

**Inventor:** KOGA MASABUMI  
TEJIMA MITSUHIRO  
OBARA HITOSHI  
SATO KENICHI

**US Class:**

**Int'l Class:** H04B 10/08 A; G01J 9/00 B; H04J 14/00 B; H04J 14/02 B

**Issue Date:** 09/27/1996

**Filing Date:** 09/22/1995

### Abstract:

**PURPOSE:** To provide a wavelength monitor device which can highly precisely and strictly discriminate the respective wavelengths of wavelength multiplex light multiplexed at prescribed wavelength intervals (frequency intervals), which fits for optical integration and which is excellent in vibration resistance.

**CONSTITUTION:** A reference light source R, an array waveguide grid 12 having a periodical transmission center wavelength corresponding to the wavelength interval of wavelength multiplex light W, first wavelength error detection means 18-20 outputting the wavelength error signal of reference wavelength light against the zero cross wavelength from the level ratio of reference wavelength light outputted from two output ports, a control means 21 stabilizing zero cross wavelength to the wavelength of reference wavelength light in accordance with a wavelength error signal Sd and second wavelength error detection means 18-i and 19-i detecting the level ratio of wavelength multiplex light outputted from the two output ports of the array waveguide grid against the signal light of respective wavelengths and outputting the respective wavelength error signals of wavelength multiplex light are provided. Zero cross wavelength it that by which the intensity of output light from the adjacent output ports in the array waveguide grid becomes equal.

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 B 10/08			H 0 4 B 9/00	K
G 0 1 J 9/00			G 0 1 J 9/00	
H 0 4 J 14/00			H 0 4 B 9/00	E
14/02				

審査請求 未請求 請求項の数22 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願平7-244953

(22) 出願日 平成7年(1995)9月22日

(31) 優先権主張番号 特願平6-230020

(32) 優先日 平6(1994)9月26日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平7-2913

(32) 優先日 平7(1995)1月11日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 古賀 正文

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 手島 光啓

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 小原 仁

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

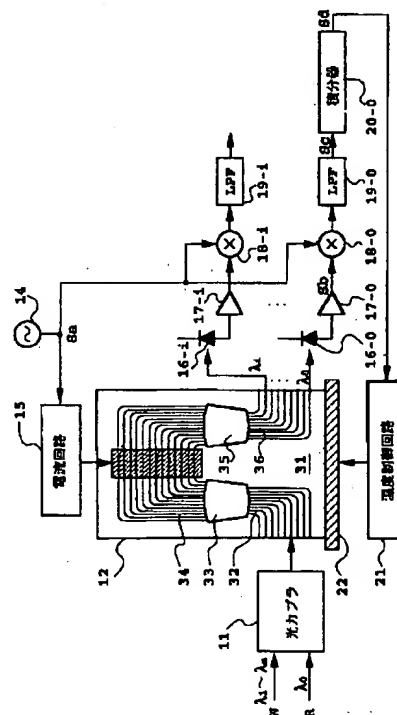
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長監視装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 所定の波長間隔(周波数間隔)で多重された波長多重光の各波長を高確度かつ厳密に弁別でき、さらに光集積化に適し、耐振動性に富む波長監視装置。

【解決手段】 基準光源Rと、波長多重光Wの波長間隔に対応する周期的な透過中心波長を有するアレイ導波路格子12と、その2つの出力ポートから出力される基準波長光のレベル比からゼロ交差波長に対する基準波長光の波長誤差信号を出力する第1の波長誤差検出手段18、19、20と、波長誤差信号Sdに応じてゼロ交差波長を基準波長光の波長に安定化する制御手段21と、アレイ導波路格子の2つの出力ポートから出力される波長多重光の各波長の信号光に対するレベル比を検出して波長多重光の各波長誤差信号を出力する第2の波長誤差検出手段18-i、19-iとを備える。ゼロ交差波長とは、アレイ導波路格子の隣接出力ポートからの出力光の強度が等しくなる波長である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 あらかじめ定められた波長を有する基準波長光に基づいて、複数のチャンネルの透過中心波長を制御しつつ、前記チャンネルから出力される波長多重光の個々の信号光 $S_k$  ( $k=1-N$ :  $N$ は正の整数)の波長誤差を同時に監視する波長監視装置であって、前記基準波長光および波長多重光が入力されたときに、前記基準波長光の少なくとも一部を出力する少なくとも1つの第1のチャンネルと、前記信号光 $S_k$ について、少なくともその一部を出力する少なくとも1つの第2のチャンネルとを備えたアレイ導波路格子と、前記第1のチャンネルから出力された基準波長光を検出する第1の受光手段と、前記第2のチャンネルから出力された信号光 $S_k$ を検出する第2の受光手段と、前記第1の受光手段の出力に基づいて、前記第1のチャンネルの透過中心波長を安定化する制御手段と、前記第2の受光手段の出力に基づいて、前記信号光 $S_k$ の波長誤差を表す誤差信号を出力する波長誤差検出手段とを具備することを特徴とする波長監視装置。

【請求項2】 前記制御手段は、前記第1のチャンネルから、変調された基準波長光が出力されるような変調を与える変調手段と、前記第1の受光手段の出力信号を同期検波する第1の同期検波器と、前記第1の同期検波器の出力に基づいて、前記基準波長光の波長の波長誤差を検出する第1の検出器とを備え、前記第1の検出器の出力に基づいて、前記第1のチャンネルの透過中心波長を安定化することを特徴とする請求項1に記載の波長監視装置。

【請求項3】 前記アレイ導波路格子は、前記基準波長光に対応する2つの前記第1のチャンネルと、前記信号光 $S_k$ に対応する2つの前記第2のチャンネルとを有し、前記波長監視装置はさらに、前記第1のチャンネルから出力された2つの出力光の強度を比較する第1の比較手段と、前記第2のチャンネルから出力された2つの出力光の強度を比較する第2の比較手段とを具備し、前記制御手段は、前記第1の比較手段の出力に基づいて、前記第1のチャンネルの透過中心波長を安定化し、前記波長誤差検出手段は、前記第2の比較手段の出力に基づいて、前記信号光 $S_k$ の波長誤差を検出することを特徴とする請求項1に記載の波長監視装置。

【請求項4】 前記制御手段は、前記基準波長光に対応する前記第1のチャンネルの設定透過中心波長と、前記基準波長光の波長との差異を示すオフセット信号を出力するオフセット回路を有し、前記基準波長光の波長と、前記第1のチャンネルの実際の透過中心波長との誤差に、前記オフセット量を加算し、この加算結果に基づいて前記第1のチャンネルの透過中心波長が、設定透過中心波長に

一致するように制御することを特徴とする請求項1、2または3に記載の波長監視装置。

【請求項5】 前記変調手段は、前記アレイ導波路格子の各チャンネルを同時に変調することを特徴とする請求項2または4に記載の波長監視装置。

【請求項6】 前記変調手段は、前記基準波長光および前記波長多重光を変調し、変調された信号を、前記アレイ導波路格子の少なくとも1つのチャンネルに入力することを特徴とする請求項2または4に記載の波長監視装置。

【請求項7】 前記波長誤差検出手段は、前記第2の受光手段の出力信号を同期検波する第2の同期検波器と、前記第2の同期検波器の出力に基づいて、前記波長多重光の信号光 $S_k$ の波長誤差を検出する第2の検出器とを具備することを特徴とする請求項5または6に記載の波長監視装置。

【請求項8】 前記波長監視装置は、さらに、前記波長多重光および前記基準波長光を、前記アレイ導波路格子の1つのチャンネルに同時に入力する入力手段を有することを特徴とする請求項5、6または7に記載の波長監視装置。

【請求項9】 前記波長監視装置は、さらに、前記波長多重光と、前記基準波長光とを、前記アレイ導波路格子の別個のチャンネルに、それぞれ入力する入力手段を有することを特徴とする請求項5、6または7に記載の波長監視装置。

【請求項10】 前記波長監視装置は、さらに、前記波長多重光および前記基準波長光を、前記アレイ導波路格子の1つのチャンネルに同時に入力する入力手段を有することを特徴とする請求項2または4に記載の波長監視装置。

【請求項11】 前記波長監視装置は、さらに、前記波長多重光と、前記基準波長光とを、前記アレイ導波路格子の別個のチャンネルに、それぞれ入力する入力手段を有することを特徴とする請求項2または4に記載の波長監視装置。

【請求項12】 前記波長監視装置は、さらに、前記波長多重光および前記基準波長光を多重化した信号を分岐して、前記アレイ導波路格子の別個のチャンネルに、同時に入力する入力手段を有することを特徴とする請求項2または4に記載の波長監視装置。

【請求項13】 前記2つの第1のチャンネルは、互いに隣接するチャンネルであり、前記2つの第2のチャンネルも、互いに隣接するチャンネルであることを特徴とする請求項10、11または12に記載の波長監視装置。

【請求項14】 前記2つの第1のチャンネルは、互いにFSR (Free Spectral Range) だけ離れたチャンネルであり、前記2つの第2のチャンネルも、互いにFSRだけ離れたチャンネルであることを特徴とする請求項10、11または12に記載の波長監視装置。

【請求項15】 前記第1の比較手段は対数増幅器であり、前記第2の比較手段も対数増幅器であることを特徴とする請求項10ないし14のいずれかに記載の波長監視装置。

【請求項16】 前記第1の比較手段は、A/D変換器およびデジタルシグナルプロセッサを有し、前記第2の比較手段も、A/D変換器およびデジタルシグナルプロセッサを有することを特徴とする請求項10ないし14のいずれかに記載の波長監視装置。

【請求項17】 前記第1の比較手段は差動受光器であり、前記第2の比較手段も差動受光器であることを特徴とする請求項10ないし14のいずれかに記載の波長監視装置。

【請求項18】 複数の波長の信号光を多重した波長多重光が入力され、各波長の信号光を分波する光分波器と、  
所定の波長に安定化された基準波長光を出力する基準光源と、  
前記波長多重光の波長間隔に対応する周期的な透過中心波長を有し、かつ波長に対して位相が反転した2つの出力を得るマッハツェンダ干渉計を複数個アレイ化し、それぞれの透過特性を一体に制御するマッハツェンダ干渉計アレイと、  
前記マッハツェンダ干渉計アレイ内の1つのマッハツェンダ干渉計の2つの出力端から出力される前記基準波長光に対する透過光を受光し、各受光信号のレベル比を検出してマッハツェンダ干渉計のゼロ交差波長に対する基準波長光の波長誤差信号を出力する第1の波長誤差検出手段と、  
前記波長誤差信号に応じて前記マッハツェンダ干渉計のゼロ交差波長を制御し、ゼロ交差波長を前記基準波長光の波長に安定化する制御手段と、  
前記マッハツェンダ干渉計アレイの各マッハツェンダ干渉計の2つの出力端から出力される前記波長多重光の各波長の信号光に対する透過光を受光し、各受光信号のレベル比を検出して波長多重光の各波長誤差信号を出力する第2の波長誤差検出手段とを備えたことを特徴とする波長監視装置。

【請求項19】 複数の波長の信号光を多重した波長多重光が入力され、所定の掃引信号によって掃引される透過中心波長に対応する波長の信号光を順次出力する可変光フィルタと、  
所定の波長に安定化された基準波長光を出力する基準光源と、  
前記波長多重光の波長間隔に対応する周期的な透過中心波長を有し、かつ波長に対して位相が反転した2つの出力を得るマッハツェンダ干渉計を2個配置し、それぞれの透過特性を一体に制御するマッハツェンダ干渉計アレイと、  
前記マッハツェンダ干渉計アレイ内の一方のマッハツェ

ンダ干渉計の2つの出力端から出力される前記基準波長光に対する透過光を受光し、各受光信号のレベル比を検出してマッハツェンダ干渉計のゼロ交差波長に対する基準波長光の波長誤差信号を出力する第1の波長誤差検出手段と、

前記波長誤差信号に応じて前記マッハツェンダ干渉計のゼロ交差波長を制御し、ゼロ交差波長を前記基準波長光の波長に安定化する制御手段と、

前記マッハツェンダ干渉計アレイの他方のマッハツェンダ干渉計の2つの出力端から出力される前記波長多重光の各波長の信号光に対する透過光を受光し、各受光信号のレベル比を検出して波長多重光の各波長誤差信号を出力する第2の波長誤差検出手段とを備えたことを特徴とする波長監視装置。

【請求項20】 請求項19に記載の波長監視装置において、

可変光フィルタに代えて、複数の波長の信号光を多重した波長多重光が入力され各波長の信号光を分波する光分波器と、分波された各波長の信号光を順次出力する光スイッチとを備えたことを特徴とする波長監視装置。

【請求項21】 請求項19または請求項20に記載の波長監視装置において、

可変光フィルタまたは光分波器と光フィルタによって分波される信号光の偏波と基準波長光の偏波とを直交させ、

前記信号光と前記基準波長光とを合波して1つのマッハツェンダ干渉計に入力する直交偏波合波手段と、

前記マッハツェンダ干渉計の2つの出力端から出力される透過光をそれぞれ入力し、前記信号光に対する透過光と前記基準波長光に対する透過光に直交偏波分離して後段の第1の波長誤差検出手段および第2の波長誤差検出手段に送出する2つの直交偏波分波手段とを備えたことを特徴とする波長監視装置。

【請求項22】 請求項18ないし請求項21のいずれかに記載の波長監視装置において、

第1の波長誤差検出手段および第2の波長誤差検出手段は、マッハツェンダ干渉計の2つの出力端に対応する受光信号のレベル差を検出して波長誤差信号とする構成であることを特徴とする波長監視装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長多重通信における波長監視回路、あるいは波長多重光源の安定化回路の波長弁別器として好適な波長監視装置に関する。

【0002】

【従来の技術】波長多重通信で使用される光源は、主に半導体レーザであるが、その発振波長は、エージングや温度変化によって変動する。そのため、複数の半導体レーザの波長を同時に、かつ正確に測定する装置が必要である。

【0003】波長多重光の各波長を監視する従来の波長監視装置は、掃引型光フィルタ（例えば掃引型ファブリペロー干渉計）の透過中心波長を時間的に掃引し、波長誤差を時間領域に変換して波長弁別を行う構成になっている。

【0004】図1は、従来の波長監視装置の構成例を示す（水落、その他、「2電極 MQWDFB-LDを用いた622Mbit/s-16ch FDMコヒーレント光伝送システム」、信学論B-1, Vol. J77-B-1, No. 5, pp. 294-303, 1994）。

【0005】図において、基準波長光Rと波長多重光Mは、光カプラ71で多重されて掃引型ファブリペロー干渉計72に入力される。掃引型ファブリペロー干渉計72は、発振器75に同期した鋸波発生器76で発生する鋸波（図2（a））で掃引され、その透過中心波長に一致する波長の光が光検出器73に受光される。光検出器73の出力パルス（図2（b））は、微分器78でそのピーク位置が微分検出され（図2（c））、サンプリング回路79でそのピーク位置に対応するサンプリングパルス（図2（d））に変換される。このサンプリングパルスと発振器75の出力信号（図2（e））は同期検波器80に入力され、その出力がサンプルホールド回路81に入力される。鋸波と発振器75の出力信号は同期しているので、サンプリングパルスで発振器75の出力信号の位相を検波し、サンプルホールド回路81でその検波出力を保持することにより誤差信号（図2（f））を得ることができる。セレクタ74は、基準波長光Rおよび波長多重光Mの各波長と、掃引型ファブリペロー干渉計72の透過中心波長との相対誤差信号を順次切り替えて出力する。

【0006】基準波長光Rに対応する誤差信号は、加算器77で鋸波発生器76から出力される鋸波に加算して掃引型ファブリペロー干渉計72に印加され、基準波長光Rに対応する光検出器73の出力パルスの位置が規定の位置にくるように制御される。これにより、掃引型ファブリペロー干渉計72の透過中心波長を基準波長光Rの波長に安定化することができ、周辺温度の変動に対する温度補償機能をもたせることができる。

【0007】また、波長多重光Mの各波長に対応する誤差信号を波長多重光Mの各光源に負帰還し、その注入電流または温度を制御することにより波長多重光Mの波長安定化を図ることができる。

【0008】以上示した従来構成に用いられる掃引型ファブリペロー干渉計は、圧電素子によって共振器長を掃引する機構が必要であるものの、比較的簡単な光学回路で実現できる。また、掃引型ファブリペロー干渉計の透過中心波長および通過帯域幅を適宜選択することにより、所望の分解能で広範囲の波長変化を監視できる利点がある。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】ところで、従来構成では、掃引型ファブリペロー干渉計の圧電素子に印加する電圧に対して、圧電素子の変位量および透過中心波長が比例するものとしている。しかし、実際には図3（A）に示すように、圧電素子の変位量は印加電圧に比例せず、ヒステリシスを有する。したがって、圧電素子の変位量に対応する透過中心波長を等間隔に設定しようとすると、印加電圧は等間隔（ $V_1 \sim V_6$ ）にならず、図3（B）に破線で示す補正電圧（ $V_2' \sim V_4'$ ）を印加する必要があった。

【0010】すなわち、従来構成のように掃引電圧が鋸波による直線的な波形では、透過中心波長を正しく掃引することができない。したがって、掃引とサンプリングが同一クロックに同期した従来構成では、広範囲な波長範囲で厳密な波長弁別が困難であり、任意の波長間隔で多重された波長多重光の高確度な監視が不可能であった。

【0011】また、ファブリペロー干渉計を用いた構成では、基準波長光の波長を基準に波長多重光の各波長変化を相対的に監視することができるが、基準波長光の波長が厳密に安定化されていないために絶対波長の測定が困難であった。

【0012】本発明は、所定の波長間隔（周波数間隔）で多重された波長多重光の各波長を高確度に弁別することができ、さらに光集積化に適する波長監視装置を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は、あらかじめ定められた波長を有する基準波長光に基づいて、複数のチャネルの透過中心波長を制御しつつ、前記チャネルから出力される波長多重光の個々の信号光 $S_k$ （ $k=1-N$ ：Nは正の整数）の波長誤差を同時に監視する波長監視装置であって、前記基準波長光および波長多重光が入力されたときに、前記基準波長光の少なくとも一部を出力する少なくとも1つの第1のチャネルと、前記信号光 $S_k$ について、少なくともその一部を出力する少なくとも1つの第2のチャネルとを備えたアレイ導波路格子と、前記第1のチャネルから出力された基準波長光を検出する第1の受光手段と、前記第2のチャネルから出力された信号光 $S_k$ を検出する第2の受光手段と、前記第1の受光手段の出力に基づいて、前記第1のチャネルの透過中心波長を安定化する制御手段と、前記第2の受光手段の出力に基づいて、前記信号光 $S_k$ の波長誤差を表す誤差信号を出力する波長誤差検出手段とを具備することを特徴とする。

【0014】前記制御手段は、前記第1のチャネルから、変調された基準波長光が出力されるような変調を与える変調手段と、前記第1の受光手段の出力信号を同期検波する第1の同期検波器と、前記第1の同期検波器の

出力に基づいて、前記基準波長光の波長の波長誤差を検出する第1の検出器とを備え、前記第1の検出器の出力に基づいて、前記第1のチャンネルの透過中心波長を安定化してもよい。

【0015】前記アレイ導波路格子は、前記基準波長光に対応する2つの前記第1のチャンネルと、前記信号光Skに対応する2つの前記第2のチャンネルとを有し、前記波長監視装置はさらに、前記第1のチャンネルから出力された2つの出力光の強度を比較する第1の比較手段と、前記第2のチャンネルから出力された2つの出力光の強度を比較する第2の比較手段とを具備し、前記制御手段は、前記第1の比較手段の出力に基づいて、前記第1のチャンネルの透過中心波長を安定化し、前記波長誤差検出手段は、前記第2の比較手段の出力に基づいて、前記信号光Skの波長誤差を検出してもよい。

【0016】前記制御手段は、前記基準波長光に対応する前記第1のチャンネルの設定透過中心波長と、前記基準波長光の波長との差異を示すオフセット信号を出力するオフセット回路を有し、前記基準波長光の波長と、前記第1のチャンネルの実際の透過中心波長との誤差に、前記オフセット量を加算し、この加算結果に基づいて前記第1のチャンネルの透過中心波長が、設定透過中心波長に一致するように制御してもよい。

【0017】前記変調手段は、前記アレイ導波路格子の各チャンネルを同時に変調してもよい。

【0018】前記変調手段は、前記基準波長光および前記波長多重光を変調し、変調された信号を、前記アレイ導波路格子の少なくとも1つのチャンネルに入力してもよい。

【0019】前記波長誤差検出手段は、前記第2の受光手段の出力信号を同期検波する第2の同期検波器と、前記第2の同期検波器の出力に基づいて、前記波長多重光の信号光Skの波長誤差を検出する第2の検出器とを具備してもよい。

【0020】前記波長監視装置は、さらに、前記波長多重光および前記基準波長光を、前記アレイ導波路格子の1つのチャンネルに同時に入力する入力手段を有してもよい。

【0021】前記波長監視装置は、さらに、前記波長多重光と、前記基準波長光とを、前記アレイ導波路格子の別個のチャンネルに、それぞれ入力する入力手段を有してもよい。

【0022】前記波長監視装置は、さらに、前記波長多重光および前記基準波長光を多重化した信号を分岐して、前記アレイ導波路格子の別個のチャンネルに、同時に入力する入力手段を有してもよい。

【0023】前記2つの第1のチャンネルは、互いに隣接するチャンネルであり、前記2つの第2のチャンネルも、互いに隣接するチャンネルであってもよい。

【0024】前記2つの第1のチャンネルは、互いにFS

R (Free Spectral Range) だけ離れたチャンネルであり、前記2つの第2のチャンネルも、互いにFSRだけ離れたチャンネルであってもよい。

【0025】前記第1の比較手段は対数増幅器であり、前記第2の比較手段も対数増幅器であってもよい。

【0026】前記第1の比較手段は、A/D変換器およびデジタルシグナルプロセッサを有し、前記第2の比較手段も、A/D変換器およびデジタルシグナルプロセッサを有してもよい。

【0027】前記第1の比較手段は差動受光器であり、前記第2の比較手段も差動受光器であってもよい。

【0028】本発明は、複数の波長の信号光を多重した波長多重光が入力され、各波長の信号光を分波する光分波器と、所定の波長に安定化された基準波長光を出力する基準光源と、前記波長多重光の波長間隔に対応する周期的な透過中心波長を有し、かつ波長に対して位相が反転した2つの出力を得るマッハツェンダ干渉計を複数個アレイ化し、それぞれの透過特性を一体に制御するマッハツェンダ干渉計アレイと、前記マッハツェンダ干渉計アレイ内の1つのマッハツェンダ干渉計の2つの出力端から出力される前記基準波長光に対する透過光を受光し、各受光信号のレベル比を検出してマッハツェンダ干渉計のゼロ交差波長に対する基準波長光の波長誤差信号を出力する第1の波長誤差検出手段と、前記波長誤差信号に応じて前記マッハツェンダ干渉計のゼロ交差波長を制御し、ゼロ交差波長を前記基準波長光の波長に安定化する制御手段と、前記マッハツェンダ干渉計アレイの各マッハツェンダ干渉計の2つの出力端から出力される前記波長多重光の各波長の信号光に対する透過光を受光し、各受光信号のレベル比を検出して波長多重光の各波長誤差信号を出力する第2の波長誤差検出手段とを備えたことを特徴とする。

【0029】本発明は、複数の波長の信号光を多重した波長多重光が入力され、所定の掃引信号によって掃引される透過中心波長に対応する波長の信号光を順次出力する可変光フィルタと、所定の波長に安定化された基準波長光を出力する基準光源と、前記波長多重光の波長間隔に対応する周期的な透過中心波長を有し、かつ波長に対して位相が反転した2つの出力を得るマッハツェンダ干渉計を2個配置し、それぞれの透過特性を一体に制御するマッハツェンダ干渉計アレイと、前記マッハツェンダ干渉計アレイ内の一方のマッハツェンダ干渉計の2つの出力端から出力される前記基準波長光に対する透過光を受光し、各受光信号のレベル比を検出してマッハツェンダ干渉計のゼロ交差波長に対する基準波長光の波長誤差信号を出力する第1の波長誤差検出手段と、前記波長誤差信号に応じて前記マッハツェンダ干渉計のゼロ交差波長を制御し、ゼロ交差波長を前記基準波長光の波長に安定化する制御手段と、前記マッハツェンダ干渉計アレイの他方のマッハツェンダ干渉計の2つの出力端から出力

される前記波長多重光の各波長の信号光に対する透過光を受光し、各受光信号のレベル比を検出して波長多重光の各波長誤差信号を出力する第2の波長誤差検出手段とを備えたことを特徴とする。

【0030】前記可変光フィルタに代えて、複数の波長の信号光を多重した波長多重光が入力され各波長の信号光を分波する光分波器と、分波された各波長の信号光を順次出力する光スイッチとを備えてもよい。

【0031】前記可変光フィルタまたは光分波器と光フィルタによって分波される信号光の偏波と基準波長光の偏波とを直交させ、前記信号光と前記基準波長光とを合波して1つのマッハツェンダ干渉計に入力する直交偏波合波手段と、前記マッハツェンダ干渉計の2つの出力端から出力される透過光をそれぞれ入力し、前記信号光に対する透過光と前記基準波長光に対する透過光に直交偏波分離して後段の第1の波長誤差検出手段および第2の波長誤差検出手段に送出する2つの直交偏波分波手段とを備えてもよい。

【0032】前記第1の波長誤差検出手段および第2の波長誤差検出手段は、マッハツェンダ干渉計の2つの出力端に対応する受光信号のレベル差を検出して波長誤差信号とする構成であってもよい。

【0033】本発明によれば、まず基準波長光の相対波長誤差がゼロになるようにアレイ導波路格子の基準チャネルの透過中心波長あるいは交差波長を制御することにより、その透過中心波長あるいは交差波長を基準波長光の波長に安定化する。一方、アレイ導波路格子の周期的な透過中心波長あるいは交差波長の相対精度は極めて高いので、基準チャネルの透過中心波長あるいは交差波長を基準波長光の波長に安定化することにより、アレイ導波路格子全体の透過特性を安定化することができる。その上で、波長多重光の各波長の相対波長誤差を検出することにより、精度が高く安定した波長弁別動作が可能となる。

【0034】さらに、本発明の波長監視装置は、所定の波長に安定化された基準波長光にマッハツェンダ干渉計のゼロ交差波長を制御することにより、絶対波長に同期した波長弁別動作が可能となる。

【0035】波長多重光の各波長弁別は、マッハツェンダ干渉計のゼロ交差波長との相対波長誤差を検出して行う。請求項18の波長監視装置では、光分波器を用いて波長多重光を各波長の信号光に分波してマッハツェンダ干渉計アレイに入力する。請求項19の波長監視装置では、透過中心波長が掃引される可変光フィルタを用い、波長多重光を各波長の信号光を時分割的に分波してマッハツェンダ干渉計に入力する。請求項20の波長監視装置では、可変光フィルタを光分波器と光スイッチに置き換え、同様に波長多重光を各波長の信号光に分波してマッハツェンダ干渉計に入力する。請求項21の波長監視装置では、請求項19または請求項20の構成で分波さ

れた各波長の信号光と基準波長光の偏波状態を直交させ、それらを分波して1つのマッハツェンダ干渉計に入力し、その出力光を直交偏波分離してそれぞれの波長誤差を検出する。

【0036】請求項18～21の波長監視装置では、マッハツェンダ干渉計の2つの出力レベル比を用いて、マッハツェンダ干渉計のゼロ交差波長を基準波長光の波長に安定しながら、波長多重光の波長誤差を高確度で弁別することができる。

【0037】請求項22の波長監視装置では、マッハツェンダ干渉計の2つの出力レベル差からゼロ交差波長との相対波長誤差を検出することができる。

【0038】

【発明の実施の形態】

(第1実施例) 図4は、本発明による波長監視装置の第1実施例の構成を示す。

【0039】図において、基準波長光(波長 $\lambda_0$ )と監視対象の波長多重光(波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ )は、光カプラ11で多重されてアレイ導波路格子12の所定の入力導波路に入力される。アレイ導波路格子12は、基板31上に形成した入力用導波路アレイ32、入力側コンケイブスラブ導波路33、導波路長差 $\Delta L$ で順次長くなる複数本の導波路からなるアレイ導波路34、出力側コンケイブスラブ導波路35、出力用導波路アレイ36を順次接続した構成である。本実施例ではアレイ導波路34にヒータ13が取り付けられる。発振器14から出力される参照信号S<sub>a</sub>は電流回路15に入力され、ヒータ13の温度を制御する。

【0040】アレイ導波路格子12の出力導波路#0～#nには、光検出器16-0, 16-i (iは1～n)が接続される(図5(A))。光検出器16-0, 16-iの出力は、それぞれ増幅器17-0, 17-iを介して位相比較器18-0, 18-iに接続される。位相比較器18-0, 18-iには、発振器14から出力される参照信号S<sub>a</sub>が入力され、その出力はそれぞれローパスフィルタ(LPF)19-0, 19-iに入力される。ローパスフィルタ19-0の出力は積分器20-0に入力される。積分器20-0の出力には温度制御回路21が接続される。温度制御回路21は、アレイ導波路格子12の温度を調整するペルチェークラ22を制御する。

【0041】図6は、温度制御回路21の構成を示すブロック図である。図において、符号12Tは、アレイ導波路格子12の温度を検出するサーミスタである。サーミスタ12Tの出力は、温度制御回路21内のサーミスタブリッジ回路211に送られる。サーミスタブリッジ回路211は、サーミスタ12Tの抵抗値から、アレイ導波路格子12の温度に対応する温度信号TSを出力し、比較器212へ供給する。比較器212の他方の入力端子には、基準電圧源213から、基準電圧RVが供



給されている。比較器212は、温度信号TSと基準電圧RVとを比較し、実測温度と設定温度との誤差信号TEを出力する。誤差信号TEは、あらかじめ設定された時定数を有するループフィルタ214に供給される。ループフィルタ214は、誤差信号TEを温度制御信号TCに変換する。

【0042】一方、基準波長光に関する波長誤差信号Sdは、加算回路215に供給される。この波長誤差信号Sdは、基準波長光の波長と、基準波長光のチャンネルの透過中心波長との波長誤差である。一方、透過中心波長の設定値と基準波長光の波長との間に、予め設定したオフセットがある場合には、波長誤差信号Sdとオフセット信号FSとの和が、設定透過中心波長と実際の透過中心波長との誤差となる。加算回路215は、オフセット回路216から供給されたオフセット信号FSと、波長誤差信号Sdとを加算し、誤差信号ESを次の加算回路217に供給する。加算回路217は、誤差信号ESと温度制御信号TCとの差をとり、ペルチェ素子駆動回路218を介して、ペルチェクーラ22を制御する。このように、アレイ導波路格子12の設定透過中心波長と基準波長光の波長とのずれ量を示すオフセット信号を用いることによって、設定透過中心波長と異なる波長の基準波長光を用いて制御することが可能となる。

【0043】なお、図5(B)に示すように、アレイ導波路格子12の出力導波路#1～#nに接続される光検出器以下の構成を1セットとし、光スイッチ23を用いて切り替えて接続するようにしてもよい。

【0044】ここで、アレイ導波路格子12の機能について説明する。

【0045】所定の入力用導波路アレイ32から入射された光は、入力側コンケイブスラブ導波路33において回折により広がり、その回折面と垂直に配置された導波路アレイ34に導かれる。導波路アレイ34は、各導波路が導波路長差 $\Delta L$ で順次長くなっているため、各導波路を伝搬して出力側コンケイブスラブ導波路35に到達した光には導波路長差 $\Delta L$ に対応する位相差が生じている。この位相差は波長（光周波数）により異なるため、出力側コンケイブスラブ導波路35のレンズ効果で出力用導波路アレイ36の入力端に集光する際に、波長ごとに異なる位置に集光する。

【0046】このように、アレイ導波路格子12は光分波器として機能させることができる。その透過特性は、図7に示すように出力導波路に対応して各透過中心波長が所定の間隔に並ぶ。なお、入力導波路の位置を1つずらすと、透過中心波長と出力導波路の対応関係が1チャンネルずつ巡回的にずれる。

【0047】本実施例では、導波路アレイ34を加熱するヒータ13の温度を参照信号Saに応じて変化させる。これにより、アレイ導波路格子12の透過特性を波長軸上で微小振動させることができる（図8、図10

(A)および図10(B)参照)。その振動に応じて得られる光強度の変化を同期検波することにより、透過中心波長との相対的な波長誤差を検出することができる。この原理に基づいて、まず基準波長光の波長にアレイ導波路格子12の透過特性を安定化する。

【0048】図8および図9は、第1実施例における基準波長光の波長弁別と透過特性の安定化動作を説明する図である。

【0049】基準波長光は、アレイ導波路格子12の出力導波路#0から出射されて光検出器16-0に受光され、その受光信号Sbが増幅器17-0で増幅されて位相比較器18-0に入力される。このとき、出力導波路#0の透過中心波長は、基準波長光の波長 $\lambda_0$ に対して、図8および図9に示す状態[1]、状態[2]、状態[3]のいずれかの関係にある。

【0050】出力導波路#0の透過中心波長が基準波長光の波長 $\lambda_0$ に対して短波長側になる状態[3]では、受光信号Sbは参照信号Saと同じ周波数と位相の信号となり、長波長側になる状態[1]では参照信号Saと同じ周波数で位相が $\pi$ ずれた信号となる。また、両者が一致する状態[2]では、受光信号Sbは参照信号Saの2倍の周波数の信号となる。このような受光信号Sbを位相比較器18-0で参照信号Saによって同期検波し、ローパスフィルタ19-0で微小振動成分を除去し、信号成分を抽出することにより、基準波長光の波長 $\lambda_0$ と出力導波路#0の透過中心波長との相対波長誤差に対応した誤差信号Scを得ることができる。誤差信号Scは、状態[3]では正となり、状態[1]では負となり、状態[2]では0となる。

【0051】この誤差信号Scを積分器20-0で時間積分することにより制御信号Sdが得られ、これを温度制御回路21およびペルチェクーラ22を介してアレイ導波路格子12に負帰還する。アレイ導波路格子12は、ペルチェクーラ22による温度制御によっても透過特性が変化する。これにより、相対波長誤差をゼロにするループが働き、アレイ導波路格子12の出力導波路#0の透過中心波長を基準波長光の波長 $\lambda_0$ に安定化することができる。

【0052】一方、アレイ導波路格子12の各出力導波路#0～#nの透過中心波長の相対精度は極めて高いので、出力導波路#0の透過中心波長を安定化することにより、アレイ導波路格子全体の透過特性を安定化することができる。

【0053】ここで、アレイ導波路格子12の出力導波路#1～#nの透過中心波長が、監視対象の波長多重光の各波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ になるように設計すると、各出力導波路の出力光から同様の同期検波により波長多重光の各波長誤差を検出することができる。なお、波長多重光の各波長は等間隔でもよいし、不等間隔であってもよい。アレイ導波路格子12はいずれの場合にも



対応できる。

【0054】図10(A)および図10(B)は、第1実施例における波長多重光の波長弁別動作を説明する図である。

【0055】アレイ導波路格子12の透過特性は、基準波長光の波長 $\lambda_0$ に安定化されている。したがって、位相比較器18-1~18-nにおける同期検波により検出される誤差信号は、波長多重光の各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ と出力導波路#1~#nの透過中心波長との相対波長誤差に対応したものとなる。

【0056】たとえば、波長 $\lambda_1$ の信号光が短波長側に揺らいだ[1]の状態は、図8および図9に示す出力導波路#0の透過中心波長が基準波長光の波長 $\lambda_0$ に対して長波長側になる状態[1]と等価である。また、波長 $\lambda_1$ の信号光が長波長側に揺らいだ[3]の状態は、出力導波路#0の透過中心波長が基準波長光の波長 $\lambda_0$ に対して短波長側になる状態[3]と等価である。したがって、出力導波路#1の透過中心波長 $\lambda_1$ に対応する[2]の状態を中心に、波長の揺らぎに応じた誤差信号を同期検波によって得ることができる。なお、波長多重光の各波長誤差に対応する誤差信号は、波長誤差量として数値化してもよく、また波長多重光の各光源の波長制御回路へフィードバックして安定化を図るようにしてもよい。

【0057】このように、本実施例の波長監視装置は、アレイ導波路格子12の各出力導波路の透過中心波長の相対精度の高さを利用し、1つの透過中心波長を基準波長光の波長 $\lambda_0$ に安定化することにより、監視対象の波長多重光の波長誤差を高確度で弁別することができる。

【0058】ところで、本実施例では、基準波長光と波長多重光を多重してアレイ導波路格子12の所定の入力導波路に入射しているが、基準波長光と波長多重光を別の入力導波路から入射してもよい。上述したように、入力導波路をシフトすることにより出力導波路が巡回的にシフトするので、基準波長光を別の入力導波路から入射して出力導波路#0から基準波長光を出力させるには、基準波長光の波長 $\lambda_0$ を波長多重光の1つの波長と同じにすればよい。たとえば、図5(A)の波長配置においては、基準波長光の波長を $\lambda_1$ (または $\lambda_n$ )とした場合には、基準波長光の入力導波路を波長多重光の入力導波路の隣にすればよい。このように、アレイ導波路格子12を用いることにより、基準波長光の波長 $\lambda_0$ を波長多重光で使用される波長を含めて任意に設定することができる。なお、これについては、後で詳細に説明する。

【0059】(第2実施例)図11は、本発明による波長監視装置の第2実施例の構成を示す。

【0060】第1実施例ではアレイ導波路格子12の透過特性を参照信号S aで変調したが、本実施例はアレイ導波路格子12の入射光を参照信号S aで位相変調あるいは周波数変調することを特徴とする。

【0061】図において、光カプラ11とアレイ導波路格子12との間に位相変調器あるいは周波数変調器24を配置し、発振器14から出力される参照信号S aを位相変調器あるいは周波数変調器24に与え、基準波長光および波長多重光を位相変調あるいは周波数変調する。その他の構成および波長誤差検出原理は第1実施例と同じである。ただし、本実施例では、アレイ導波路格子12の透過特性を一定とし、基準波長光および波長多重光を波長軸上で微小振動させ、その振動に応じて得られる光強度の変化(受光信号S b)を同期検波し、透過中心波長との相対的な波長誤差を検出する。したがって、誤差信号S cの符号は第1実施例の場合とは反対の意味をもつ。

【0062】図12および図13は、第2実施例における波長弁別と透過特性の安定化動作を説明する図である。

【0063】出力導波路#0の透過中心波長は、基準波長光の波長 $\lambda_0$ に対して、状態[1]、状態[2]、状態[3]のいずれかの関係にある。出力導波路#0の透過中心波長が基準波長光の波長 $\lambda_0$ に対して長波長側になる状態[1]では、受光信号S bは参照信号S aと同じ周波数と位相の信号となり、短波長側になる状態

[3]では参照信号S aと同じ周波数で位相が $\pi$ ずれた信号となる。また、両者が一致する状態[2]では、受光信号S bは参照信号S aの2倍の周波数の信号となる。このような受光信号S bを位相比較器18-0で参照信号S aによって同期検波し、ローパスフィルタ19-0で変調周波数成分を除去し、信号成分を抽出することにより、基準波長光の波長 $\lambda_0$ と出力導波路#0の透過中心波長との相対波長誤差に対応した誤差信号S cを得ることができる。誤差信号S cは、状態[1]では正となり、状態[3]では負となり、状態[2]では0となる。この誤差信号S cを積分器20-0で時間積分して得た制御信号S dでペルチェーラ22を制御することにより、相対波長誤差をゼロにするループが働き、アレイ導波路格子12の出力導波路#0の透過中心波長を基準波長光の波長 $\lambda_0$ に安定化することができる。

【0064】波長多重光の波長弁別動作も同様である。すなわち、アレイ導波路格子12の透過特性は基準波長光の波長 $\lambda_0$ に安定化されるので、位相比較器18-1~18-nにおける同期検波により検出される誤差信号は、波長多重光の各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ と出力導波路#1~#nの透過中心波長との相対波長誤差に対応したものとなる。

【0065】(第3実施例)図14(A)は、本発明の第3実施例の構成を示す。

【0066】図において、基準波長光(波長 $\lambda_0$ )と監視対象の波長多重光(波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ )は、光カプラ11で多重されてアレイ導波路格子12の所定の入力導波路に入力される。アレイ導波路格子12の出力導波路#

0～#2n+1には、隣接する2つの出力導波路ごとにバランスト受光素子25-0, 25-i (iは～n)が接続される(図15(A))。バランスト受光素子25-0, 25-iの出力は、それぞれ増幅器17-0, 17-iに入力される。増幅器17-0の出力は、積分器20-0に入力される。積分器20-0の出力には温度制御回路21が接続される。温度制御回路21は、アレイ導波路格子12の温度を調整するペルチェークラ22を制御する。

【0067】なお、図15(B)に示すように、アレイ導波路格子12の出力導波路#2～#2n+1に接続されるバランスト受光素子以下の構成を1セットとし、光スイッチ23-1, 23-2を用いて切り替えて接続するようにしてもよい。

【0068】本実施例の特徴は、図16(A)に示すように、隣接する透過特性の交差点(交差波長)が基準波長光の波長 $\lambda_0$ に一致するように透過特性を安定化し、波長多重光の各波長弁別を行うところにある。アレイ導波路格子12の透過特性をこのように設定した場合には、図16(B)に示すように、基準波長光の光強度は出力導波路#0, #1の間にガウス分布の形状(ガウシアンビーム)で広がる。このガウシアンビームと出力導波路#0, #1との結合は、図中斜線で示す両者の重なり部分で生じる。したがって、透過特性が長波長側あるいは短波長側に変動すると、基準波長光の波長 $\lambda_0$ との相対波長誤差に応じて出力導波路#0, #1に結合する光強度が不均等になり、両者の差が誤差信号として検出される。

【0069】図17(A)および図17(B)は、第3実施例における基準波長光の波長弁別および透過特性の安定化動作を説明する図である。

【0070】出力導波路#0, #1の透過特性は、基準波長光の波長 $\lambda_0$ に対して、状態[1]、状態[2]、状態[3]のいずれかの関係にある。透過特性が基準波長光の波長 $\lambda_0$ に対して長波長側になる状態[1]では、出力導波路#0に結合される光強度が大きくなり、短波長側になる状態[3]では出力導波路#1に結合される光強度が大きくなる。また、両者が一致する状態

[2]では、出力導波路#0, #1に光強度が均等に結合される。したがって、出力導波路#0, #1に接続されるバランスト受光素子25-0の各受光信号Sa0, Sa1は、状態[1], [2], [3]に応じて変化する。バランスト受光素子25-0は、各受光信号Sa0, Sa1の差分を誤差信号Scとして出力するので、誤差信号Scは状態[3]で正電圧を示し、状態[1]で負電圧を示し、状態[2]では0となる。この誤差信号Scを積分器20-0で時間積分して得た制御信号Sdでペルチェークラ22を制御することにより、相対波長誤差をゼロにするループが働き、アレイ導波路格子12の透過特性を基準波長光の波長 $\lambda_0$ に安定化すること

ができる。

【0071】波長多重光の波長弁別動作も同様である。すなわち、アレイ導波路格子12の透過特性は基準波長光の波長 $\lambda_0$ に安定化されるので、各バランスト受光素子25-1～25-nから出力される誤差信号は、波長多重光の各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ と透過特性との相対波長誤差に対応したものとなる。

【0072】なお、本実施例ではバランスト受光素子と増幅器を用いた構成を示したが、図14(B)に示すように、2つの出力導波路にそれぞれ光検出器16-1, 16-2を接続し、各受光信号を差動増幅器26で処理するようにしても同様の作用・効果が得られる。

【0073】ところで、本実施例では、アレイ導波路格子12の隣接する出力導波路の光強度の差から波長誤差を検出する。しかし、図16(B)に示すように出力導波路間ピッチを理想的にゼロにはできないので、その間の光強度成分が有効に活用されず、出力導波路に結合される光強度が小さくなる。すなわち、交差波長における透過強度が小さくなる。この問題点を解決する構成を以下に示す。

【0074】(第4実施例) 図18は、本発明の第4実施例の構成を示す。

【0075】図において、基準波長光(波長 $\lambda_0$ )と監視対象の波長多重光(波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ )は、2×2光カップラ27で多重されてアレイ導波路格子12の2つの入力導波路に入力される。一方の入力導波路から入力された基準波長光および波長多重光に対して、アレイ導波路格子12の出力導波路#0～#nに波長 $\lambda_0$ の基準波長光および波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の信号光がそれぞれ出力される。また、他方の入力導波路から入力された基準波長光および波長多重光に対して、アレイ導波路格子12の出力導波路#n+1～#2n+1に波長 $\lambda_0$ の基準波長光および波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の信号光がそれぞれ出力される。各波長に対応する2つの出力導波路ごとにバランスト受光素子25-0, 25-i (iは1～n)が接続される(図19(A))。バランスト受光素子25-0, 25-iの出力は、それぞれ増幅器17-0, 17-iに入力される。増幅器17-0の出力は、積分器20-0に入力される。積分器20-0の出力には温度制御回路21が接続される。温度制御回路21は、アレイ導波路格子12の温度を調整するペルチェークラ22を制御する。

【0076】なお、図19(B)に示すように、アレイ導波路格子12の出力導波路#1～#n, #n+2～#2n+1に接続されるバランスト受光素子以下の構成を1セットとし、光スイッチ23-1, 23-2を用いて切り替えて接続するようにしてもよい。

【0077】本実施例の特徴とするところは、出力導波路#0～#nと出力導波路#n+1～#2n+1の間隔を調整することにより、図20に示すように各波長に対

応する2つの出力導波路に光強度の半分ずつを結合させるところにある。たとえば、出力導波路#0には基準波長光( $\lambda_0$ )の短波長側の半分、出力導波路# $n+1$ には基準波長光( $\lambda_0$ )の長波長側の半分が結合するように設計する。これは、出力導波路# $n$ と# $n+1$ との間隔を、図20に示すように $6\Delta\lambda$ とし、出力導波路#0の透過中心波長を $\lambda_0 - \Delta\lambda$ 、出力導波路# $n+1$ の透過中心波長を $\lambda_0 + \Delta\lambda$ とするものである。ただし、 $\Delta\lambda$ は波長多重光の波長間隔の $1/4$ である。逆に、出力導波路#0には基準波長光( $\lambda_0$ )の長波長側の半分、出力導波路# $n+1$ には基準波長光( $\lambda_0$ )の短波長側の半分が結合するようにしてもよい。波長多重光の波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の信号光についても同様である。このように、出力導波路#0～# $n$ の各導波路間隔を $4\Delta\lambda$ 、出力導波路# $n+1 \sim \#2n+1$ の各導波路間隔も $4\Delta\lambda$ としているのに対し、出力導波路# $n$ と# $n+1$ との間隔を $6\Delta\lambda$ とした点が本実施例の特徴である。いいかえれば、通常の出力導波路間隔を多重波長光の波長間隔( $4\Delta\lambda$ )としているのに対して、出力導波路群I(#0～# $n$ )とII(# $n+1 \sim \#2n+1$ )との間隔を、波長多重光の波長間隔( $4\Delta\lambda$ )より、さらに半波長間隔分( $2\Delta\lambda$ )シフトし、その1.5倍( $6\Delta\lambda$ )とした点を特徴としている。

【0078】このような透過特性が、温度揺らぎにより例えば $\Delta\lambda$ が大きくなる方向にシフトすると、出力導波路#0への結合強度が小さくなり、出力導波路# $n+1$ への結合強度が大きくなる。この両者の差を第3実施例と同様にして検出してペルチェークラ22を制御することにより、相対波長誤差をゼロにするループが働き、アレイ導波路格子12の透過特性を基準波長光の波長 $\lambda_0$ に安定化することができる。

【0079】波長多重光の波長弁別動作も同様である。すなわち、アレイ導波路格子12の透過特性は基準波長光の波長 $\lambda_0$ に安定化されるので、各バランスト受光素子25-1～25- $n$ から出力される誤差信号は、波長多重光の各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ と透過特性との相対波長誤差に対応したものとなる。

【0080】上記実施例は、図21(A)に示すように、入力導波路(a)、(b)に、基準波長光と波長多重光とを多重化して入射し、出力導波路#0～# $n$ に分岐波長群I、出力導波路# $n+1 \sim \#2n+1$ に分岐波長群IIを得るものであった。

【0081】しかしながら本実施例は、このような構成に限定されない、たとえば、図21(B)に示すように、出力導波路#0～# $n$ に0次光(回折次数 $n$ )、出力導波路# $n+1 \sim \#2n+1$ に1次光(回折次数 $n+1$ )などの光を取り出せるように設計することも可能である。ただし、この場合にはバランスト受光素子に変えて差動増幅器26を用い、0次光と1次光の出力強度差を補正して波長弁別処理を行う。また、出力導波路群を

さらに増やして、FSRの数倍用意し、0次光および1次光の他に、2次光(回折次数 $n+2$ )などの光を取り出せるようにすることも可能である。この場合も各次数の出力導波路群の間隔は、波長多重光の波長間隔の1.5倍( $6\Delta\lambda$ )とすることが特徴である。なお、以上の各実施例では波長多重光の波長弁別について説明したが、光周波数弁別についても同様に説明することができる。

【0082】(第5実施例)図22および図23は、本発明による波長監視装置の第5実施例を示すブロック図である。この第5実施例が、図14(A)に示す第3実施例と異なる点は、第3実施例が、隣接出力ポートの出力の差をとっているのに対して、本実施例では、出力の比をとっている点である。そのために、本実施例では、対をなす受光素子16-ia、16-ibの出力を、対数増幅器40-iの第1入力端および第2入力端にそれぞれ供給している。対数増幅器40-iは、2つの入力信号を対数変換した後で、それらの差をとっている。したがって、本実施例では、隣接出力ポートの出力の比が波長誤差信号として出力される。

【0083】本実施例のアレイ導波路格子(AWG)12は、 $16 \times 16$ のアレイ導波路格子であり、各隣接チャネルの透過中心波長間隔は1nmである。したがって、FSR(Free Spectral Range)は、16nmとなる。ただし、入力ポートとしては、中央の8ポートのみを使用している。アレイ導波路格子12の各チャネルの透過中心波長は、波長多重光と基準波長光との多重波の入力ポートの位置によって変化する。

【0084】図24(A)は、図22に対応する図であり、波長多重光と基準波長光との多重波を、入力ポート#1から入力した場合の、アレイ導波路格子12の透過特性を示すグラフである。図24(A)の横軸は波長、縦軸は透過率を表す。この図から分かるように、出力ポート番号が1だけ大きくなると、その透過中心波長は1nmだけ長波長側にシフトする。そのため、各出力ポートは、図22に示すように、番号が増えるにしたがって、長波長側の対数増幅器に接続されている。すなわち、出力ポート#1および#2は、対をなす受光素子16-1aおよび16-1bを介して、最短波長側の対数増幅器40-1(出力#G)の第1入力端および第2入力端に接続されている。同様に、出力ポート#3および#4は、対をなす受光素子16-2aおよび16-2bを介して、対数増幅器40-2(出力#F)の第1入力端および第2入力端に接続されている。以下、同様の接続が繰り返され、出力ポート#13および#14は、受光素子16-7aおよび16-7bを介して、最長波長側の対数増幅器40-7(出力#A)の第1入力端および第2入力端に接続されている。さらに、出力ポート#15および#16は、基準波長光用の出力ポートであり、受光素子16-0aおよび16-0bを介して、対

数増幅器40-0（出力#H）の第1入力端および第2入力端にそれぞれ接続されている。

【0085】一方、図24（B）は、図23に対応する図であり、波長多重光と基準波長光との多重波を、#7の入力ポートから入力した場合の透過特性を示すグラフである。入力ポート番号を1ずつ増やしていくと、出力ポートは、1nmずつ長波長側にシフトしていく。したがって、入力ポートを、#1から#7に変更すると、出力ポート#1の透過中心波長は、6nmだけ長波長側にシフトし、1549nmから1555nmとなる。そのため、各出力ポートは、図23に示すように接続されている。すなわち、出力ポート#1および#2は、対数増幅器40-4（出力#D）の第1入力端および第2入力端に接続され、出力ポート#3および#4は、対数増幅器40-5（出力#C）の第1入力端および第2入力端に接続されている。以下、同様の接続が繰り返され、出力ポート#15および#16は、対数増幅器40-3（出力#E）の第1入力端および第2入力端に接続されている。また、出力ポート#9および#10が、基準波長光用の対数増幅器40-0（出力#H）の第1入力端および第2入力端にそれぞれ接続されている。

【0086】図24（A）および図24（B）から分かるように、アレイ導波路格子12の入出力特性は、周期性(Periodic Assignment)をもっている。たとえば、図24（A）の出力ポート#15の出力は、1547nmおよび1563nmと、FSR分（この場合は、16nm）だけシフトした波長にも透過中心波長を有する。隣接した2つの透過中心波長特性曲線が交わる点として定義される交差波長についても同様である。

【0087】図25は、この様子を示す。図25（A）～（H）は、各対数増幅器40-7～40-0の出力#A～#Hのゼロ交差出力を示している。この図から明らかなように、ゼロ交差点は、2nmずつシフトしている。これは、各対数増幅器が、出力ポートを2本ずつ使用しているためである。

【0088】このような構成によれば、波長誤差信号が、2つの出力光の比の形で得られるので、入力光の強度にばらつきがあっても、精度の高い、安定した波長弁別を行うことができる。

【0089】図26（A）および図26（B）は、2つの出力ポートからの出力の差をとった場合（図26（A））と、比をとった場合（図26（B））との違いを示すグラフである。これらのグラフの横軸は、交差波長からのずれを正規化した値であり、縦軸は差出力あるいは比出力を入力強度で正規化した値を示している。これらの図から分かるように、差出力は、光の入力強度 $P_0$ および $P_0/2$ に依存して変化するのに対して、比出力は、入力強度に依存しない一定の特性が得られる。

【0090】波長多重光の測定レンジは、対数増幅器の出力が確定し、2つの出力光の比が得られる範囲となる。

図26（B）に示すように、対数増幅器の出力は、ゼロ交差波長で0となり、この点から離れるにしたがって増加するが、交差波長の前後0.5nm程度の範囲を、測定レンジとすることができる。すなわち、測定レンジは、交差波長の前後の直線部分となり、例えば、図25（H）では、1547～1548nmの範囲となる。

【0091】また、基準波長光の波長も、対数増幅器40-0（出力#H）の出力範囲で、任意に設定することができる。すなわち、図6に示すオフセット回路216から出力された、設定交差波長と基準波長光の波長との差に相当するオフセットを、波長誤差信号に加えることによって、設定交差波長と異なる波長の基準波長光を用いることができる。

【0092】実際、アレイ導波路格子12の交差波長は1547.5nmに設定されており、半導体レーザ光源10から出力される基準波長光の波長1547.485nmとの間には、0.015nm（周波数に換算して1.8GHz）の差があるが、オフセットを与えることによって、この差を補償し、透過中心波長の安定した制御を可能としている。

【0093】（第6実施例）図27は、本発明による波長監視装置の第6実施例を示すブロック図である。この実施例が、図22および図23に示す第5実施例と異なる点は、波長多重光と基準波長光とを別々の入力ポートから入力した点である。すなわち、波長多重光を入力ポート#5へ入力し、基準波長光を入力ポート#7へ入力している。

【0094】入力ポート#5へ入力された波長多重光は、入力ポート#7に入力した図22の場合と比較して、透過中心波長が2nmだけ、短波長側にシフトする。したがって、各交差波長もそれぞれ2nmずつシフトする。たとえば、対数増幅器40-7の出力#Aは、入力ポート#7からの場合は、交差波長が1561.5nmであるが、入力ポート#5からの場合は、1559.5nmにシフトする。

【0095】このような構成によれば、波長多重光の一つの波長光が、基準波長光の波長と同じであっても、波長監視が可能である。これらの光は、波長が同じでも、別の出力ポートから出力されるからである。

【0096】図28、図29、図30（A）および図30（B）は、これを説明するための図である。波長多重光と基準波長光とを合波して、図28の入力ポート#0から入力した場合、出力ポート数が入力波長数（1（基準波長）+波長多重数）の2倍という制約があると、図29のような波長配置となる。すなわち、基準波長として許される波長 $Ref(i)$ は、波長多重光の波長領域に重ならない、FSRの整数倍の波長域に限定される。

【0097】一方、図28に示すように、波長多重光と基準波長光とを異なる入力ポートから入力する場合に

は、図30(A)の波長多重光に対して、図30(B)に白四角で示した範囲の基準波長光が許される。また、図30(B)の斜線部は、波長多重光と基準波長光とを、同一入力ポートから入力した場合に許される基準波長を示している。したがって、基準波長光の入力ポートを変更することで、任意の波長の基準波長光を使用することができる。

【0098】なお、第5および第6実施例においては、アレイ導波路格子12の出力ポートからの出力の比をとるのに、対数増幅器を用いたが、これに限定されない。たとえば、図31に示すように、対数増幅器の代わりに、A/D変換器41-0a~41-7b、DSP(デジタルシグナルプロセッサ)43、およびD/A変換器45-0~45-7を用いても、同様の作用・効果をあげることができる。この場合、A/D変換器41-0a~41-7bの入力端は、図22の受光素子16-0a~16-7bの出力端に、それぞれ接続される。

【0099】また、D/A変換器45-0~45-7は、必ずしも必要でなく、デジタル信号の形で得られた波長誤差信号を出力として用いることもできる。

【0100】(第7実施例)図32は、本発明による波長監視装置を、送信用半導体レーザの波長制御に応用した例を示す実施例である。

【0101】図において、半導体レーザ51~57から出力された、波長が $\lambda_1 \sim \lambda_7$ の光は、合波器91によって合波されて波長多重光となり、光カプラ92に供給される。光カプラ92は、波長多重光の各波長光の一部を分岐して、波長監視装置93に供給するとともに、残りを出力する。波長監視装置93は、あらかじめ定められた設定波長 $\lambda_{01}, \lambda_{02}, \dots, \lambda_{07}$ と、波長多重光の各波長光との誤差量 $\lambda_1 \sim \lambda_{01}, \dots, \lambda_7 \sim \lambda_{07}$ を出力する。この誤差量を半導体レーザ51~57の注入電流制御回路61~67に負帰還することによって、誤差量をゼロにするように制御する。この結果、半導体レーザの発振波長は、設定値 $\lambda_{01}, \dots, \lambda_{07}$ に安定化される。

【0102】また、注入電流制御回路の代わりに、半導体レーザの温度制御回路に負帰還する構成でも実現可能である。

【0103】(第8実施例)図33は、本発明の第8実施例の構成を示す。

【0104】図において、基準波長光は原子あるいは分子の吸収線に安定化した波長光である。監視対象の波長多重光(本実施例では8波多重)は光分波器111に入力されて各波長ごとに分波される。基準波長光および波長多重光を分波した各波長光は、複数のマッハツェンダ干渉計112を一体化したマッハツェンダ干渉計アレイ113に入力される。各マッハツェンダ干渉計112は、波長に対して位相が反転した2つの強度出力光を出し、光検出器114でそれぞれ電気信号に変換される。1つの波長に対する2つの電気信号は、対数増幅器

(ログアンプ)115でそのレベル比がとられ、波長誤差信号として出力される。基準波長光に対する波長誤差信号は温度制御回路116に入力される。温度制御回路116は、マッハツェンダ干渉計アレイ113の温度を調整するペルチェークラ117を制御する。

【0105】ここで、図34を参照して第8実施例における波長誤差検出動作について説明する。

【0106】図34(A)は、マッハツェンダ干渉計アレイ113内の1つのマッハツェンダ干渉計112と、マッハツェンダ干渉計の出力A、Bにそれぞれ対応する光検出器114-1、114-2と、各光検出器から出力される電気信号のレベル比をとり波長誤差信号を出力する対数増幅器115を示す。マッハツェンダ干渉計は、図34(B)に示すように波長(あるいは光周波数)に対して等間隔の透過特性を有し、出力A、Bから出力される光は波長(あるいは光周波数)に対して位相が反転した特性を示す。なお、実線は出力Aの透過特性、破線は出力Bの透過特性を示す。図34(C)は、基準波長光(波長 $\lambda_0$ )と波長多重光(波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ )の波長配置を示す。波長多重光は、図に示す光分波器(あるいは後述する可変光フィルタ)の透過特性に応じて各波長光に分波される。

【0107】マッハツェンダ干渉計112の出力A、Bから出力される光のレベル比に応じた波長誤差信号は、図34(D)に示すように入力波長に応じて正の値から負の値に変化し、出力A、Bの透過率が等しく(共に0.5)なるゼロ交差波長で出力ゼロとなる。すなわち、対数増幅器115から出力される波長誤差信号(電気信号)の極性およびレベルに応じて、入力波長とゼロ交差波長との相対的な波長誤差を検出することができる。

【0108】なお、本実施例では、1/2周期ごとのゼロ交差波長と、基準波長光および波長多重光の各波長とを対応させているので、図33に示すように、隣接する波長を弁別するマッハツェンダ干渉計112の出力A、Bと、対数増幅器115の+端子および-端子との接続関係を交互に入れ替える。これにより、図34(D)に示す特性により、すべての波長に対する波長誤差検出が可能となる。

【0109】いま、基準波長光を入力しているマッハツェンダ干渉計に対応する対数増幅器から出力される波長誤差信号を温度制御回路116に入力し、それがゼロになるようにペルチェークラ117を制御してマッハツェンダ干渉計アレイ113の温度を調整する。これにより、マッハツェンダ干渉計の透過特性がシフトし、そのゼロ交差波長を基準波長光の波長に一致させることができる。このとき、マッハツェンダ干渉計アレイ113の他のマッハツェンダ干渉計の透過特性も同時に制御されるので、本実施例の構成を基準波長光と同程度の確度をもた波長弁別器として機能させることができる。すなわ

ち、光分波器111で分波された波長多重光の各波長について、それぞれ対応する所定の波長（ゼロ交差波長）からの誤差量を高精度に得ることができる。

【0110】なお、マッハツェンダ干渉計の透過特性を制御する他の方法として、例えばリチウムナイオベイト（ $\text{LiNbO}_3$ ）基板などのように電気光学効果を利用した透過特性掃引手段に対しては印加電圧に負帰還する制御回路を用いることができる。以下に示す実施例においても同様である。

【0111】また、本実施例では対数増幅器でマッハツェンダ干渉計の2つの透過出力光のレベル比をとっているため、入力信号光のパワーが変動しても安定した（入力光パワーに依存しない）波長弁別が可能である。一方、入力信号光のパワーが安定している場合には、対数増幅器に代えて差動増幅器を用いて2つの透過出力光のレベル差を検出する構成でも同様の波長弁別が可能である。また、差動増幅器の出力を入力光パワーで補正する構成をとれば、対数増幅器を用いた場合と同様に入力信号光のパワーが変動しても安定した波長弁別が可能である。以下に示す実施例においても同様である。

【0112】（第9実施例）図35は、本発明の第9実施例の構成を示す。

【0113】本実施例は、第8実施例における光分波器111を可変光フィルタ121に置き換え、マッハツェンダ干渉計113として2組のマッハツェンダ干渉計を備えたことを特徴とする。第8実施例では、監視対象の波長多重光を各波長ごとに空間的に分割して同時に波長弁別するのに対して、本実施例では所定の周期で透過中心波長が切り替えられる可変光フィルタ121で波長多重光を時分割で分波して波長弁別する。

【0114】図36は、可変光フィルタ121に印加する掃引信号を示す。可変光フィルタ121に印加する掃引信号は、その透過中心波長が波長多重間隔に対応して変化するように調整された多値ステップ信号である。これにより、波長多重光の各波長の信号光（チャンネル）を順次切り替えてマッハツェンダ干渉計に入力することができる。

【0115】このように、可変光フィルタ121の印加電圧に対する透過中心波長の非直線性を校正する掃引信号（多値ステップ信号）を用い、可変光フィルタ121の透過中心波長を波長多重間隔で正確に掃引することにより、各波長の信号光を順次分波することができる。また、第8実施例と同様に、マッハツェンダ干渉計アレイ113のゼロ交差波長が基準波長光の波長に安定化されるので、マッハツェンダ干渉計アレイ113を絶対波長に同期した波長弁別器として機能させることができる。したがって、本実施例の可変光フィルタ121とマッハツェンダ干渉計アレイ113の組み合わせによっても、監視対象の波長多重光の波長誤差を高精度に弁別することができる。

【0116】（第10実施例）図37は、本発明の第10実施例の構成を示す。

【0117】本実施例は、第9実施例における可変光フィルタ121を光分波器111と光スイッチ131に置き換えたことを特徴とする。

【0118】本実施例は、波長多重光を第8実施例と同様に光分波器111で各波長ごとに分波し、光スイッチ131で各波長の信号光を順次出力してマッハツェンダ干渉計アレイ113の1つのマッハツェンダ干渉計に入力する。波長弁別動作は第9実施例と同様である。

【0119】（第11実施例）図38は、本発明の第11実施例の構成を示す。

【0120】本実施例は、第9実施例または第10実施例の構成において、基準波長光の偏波と波長多重光の偏波を直交させることにより、1つのマッハツェンダ干渉計で両者の波長弁別を可能にしたことを特徴とする。

【0121】波長多重光は、第9実施例に示す可変光フィルタ121、または第10実施例に示す光分波器111と光スイッチ131を介して各波長ごとに順次分波して出力される。各波長の信号光と基準波長光は、直交偏波合波手段（例えば偏光ビームスプリッタ）141で合波され、1つのマッハツェンダ干渉計112に入力される。マッハツェンダ干渉計112の出力A、Bは、それぞれ直交偏波分離手段（例えば偏光ビームスプリッタ）142-1、142-2で偏波分離される。偏波分離された光は、それぞれ各波長の信号光および基準波長光であり、それぞれ波長誤差検出手段（光検出器114、対数増幅器115）で波長誤差が検出される。マッハツェンダ干渉計112の絶対波長への安定化の制御系は、第8実施例～第10実施例と同様である。

【0122】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の波長監視装置は、周辺温度の変動によるアレイ導波路格子の透過中心波長の変化にも対応できるので、長期に渡って安定した波長弁別を行うことができる。

【0123】また、アレイ導波路格子の2つの出力導波路の出力光強度差を比較して波長弁別を行う構成では、同期検波に必要な電気回路が不要となるので、全体の構成を簡単にすることができる。

【0124】また、アレイ導波路格子は石英系や半導体のような固体基板上に集積化された光導波路の組み合わせにより実現されるので、熱光学効果や電気光学効果を利用することにより透過特性を極めて安定に制御することができる。しかも集積化デバイスであるので、小型でありかつ大量生産に適するので、波長監視装置のコスト低減を図ることができる。

【0125】また、アレイ導波路格子は掃引型ファブリペロー干渉計の場合と異なり、可動部を必要としない構成のために機械振動に対して安定である。

【0126】また、本発明の波長監視装置では、基準波

長光および波長多重光が等波長間隔で配置されているばかりでなく、不等間隔の場合でも対応するアレイ導波路格子を用いることにより波長弁別処理が可能となる。

【0127】さらに、基準波長光と波長多重光とを異なる入力ポートから入力することにより、基準波長光が波長多重光と一致していても弁別可能である。このように、アレイ導波路格子を用いることにより、任意の波長間隔で設定された波長多重光および基準波長光を容易に弁別することができる。

【0128】さらに、本発明の波長監視装置は、高精細に安定化された基準波長光を用い、マッハツェンダ干渉計アレイまたはマッハツェンダ干渉計のゼロ交差波長と基準波長の相対波長誤差を負帰還することにより、環境変化時でも透過特性を高精度に安定化することができる。

【0129】このようにして安定化されたマッハツェンダ干渉計アレイまたはマッハツェンダ干渉計を波長弁別器として用いることにより、監視対象の波長多重光の各波長を高確度に監視することができる。また、同一特性のマッハツェンダ干渉計を同一基板上にアレイ化することにより、相対波長精度を高くすることができる。さらに、集積化構造による耐振動性能を高めることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の波長監視装置の一例を示すブロック図である。

【図2】従来の波長監視装置の動作を示す波形図である。

【図3】(A) および (B) は、掃引型ファブリペロー干渉計の印加電圧と、圧電素子の変位量および透過中心波長との関係を示すグラフである。

【図4】本発明による波長監視装置の第1実施例を示すブロック図である。

【図5】(A) は、第1実施例の要部の構成を示す図、(B) は、第1実施例の変形例の要部の構成を示す図である。

【図6】温度制御回路の構成を示すブロック図である。

【図7】アレイ導波路格子の透過特性を示すグラフである。

【図8】第1実施例における基準波長光の波長弁別と、透過特性の安定化動作とを説明するための図である。

【図9】第1実施例における基準波長光の波長弁別と、透過特性の安定化動作とを説明するための図である。

【図10】(A) および (B) は、第1実施例における波長多重光の波長弁別動作を説明するための図である。

【図11】本発明による波長監視装置の第2実施例を示すブロック図である。

【図12】第2実施例における基準波長光の波長弁別と、透過特性の安定化動作とを説明するための図である。

【図13】第2実施例における基準波長光の波長弁別と、透過特性の安定化動作とを説明するための図である。

【図14】(A) は、本発明による波長監視装置の第3実施例を示すブロック図、(B) は、第3実施例においてバランスト受光素子および増幅器に代えて、光検出器および差動増幅器を用いた例を示す図である。

【図15】(A) は、第3実施例の要部の構成を示す図、(B) は、第3実施例の変形例の要部の構成を示す図である。

【図16】(A) および (B) は、第3実施例における透過特性と、基準波長光との関係を示す図である。

【図17】(A) および (B) は、第3実施例における基準波長光の波長弁別と、透過特性の安定化動作とを説明するための図である。

【図18】本発明による波長監視装置の第4実施例を示すブロック図である。

【図19】(A) は、第4実施例の要部の構成を示す図、(B) は、第4実施例の変形例の要部の構成を示す図である。

【図20】第4実施例における波長弁別動作を説明するための図である。

【図21】(A) および (B) は、第4実施例とその変形例における入出力状態を示す図である。

【図22】本発明による波長監視装置の第5実施例を示すブロック図である。

【図23】本発明による波長監視装置の第5実施例を示すブロック図である。

【図24】(A) および (B) は、アレイ導波路格子の周回性を説明するためのグラフであり、(A) は入力光を、入力ポート#1に入力した場合を示し、(B) は、入力光を、入力ポート#7に入力した場合を示している。

【図25】入力光を、入力ポート#1に入力したときの、各対数増幅器の出力のゼロ交差波長を示すグラフである。

【図26】(A) は、2つの出力ポートの出力差が、入力光強度に依存することを示すグラフ、(B) は、2つの出力ポートの出力比が、入力光強度に依存しないことを示すグラフである。

【図27】本発明による波長監視装置の第6実施例を示すブロック図である。

【図28】波長多重光を入力ポート#0から入力し、基準波長光を別の入力ポートから入力した場合の、出力光の状態を示す図である。

【図29】波長多重光と基準波長光とを合波してから入力した場合の、波長多重光と基準波長光との波長配置を示す図である。

【図30】(A) および (B) は、波長多重光と基準波長光とを異なる入力ポートに入力した場合の、波長配置



19 ローパスフィルタ (LPF)

## 20 積分器

## 2.1 温度控制回路

## 22 ペルチェクーラ

## 2.3 光スイッチ

## 2.4 位相変調器

## 2.5 バランスト受光素子

## 2.6 差動增幅器

27 2×2光カプラ

### 3.1 基板

### 3.2 入力用導波路アレイ

### 3.3 入力側コンケイブスラブ導波路

### 34 アレイ導波路

### 3.5 出力側コンケイブスラブ導波路

### 3.6 出力用導波路アレイ

1 1 1 光分波器

112 マツハツェンダ干渉計

### 113 マツハツェンダ干渉計アレイ

1 1 4 光検出器

### 115 対数増幅器 (ログアンプ)

### 1 1 6 温度制御回路

117 ペルチェクーラ

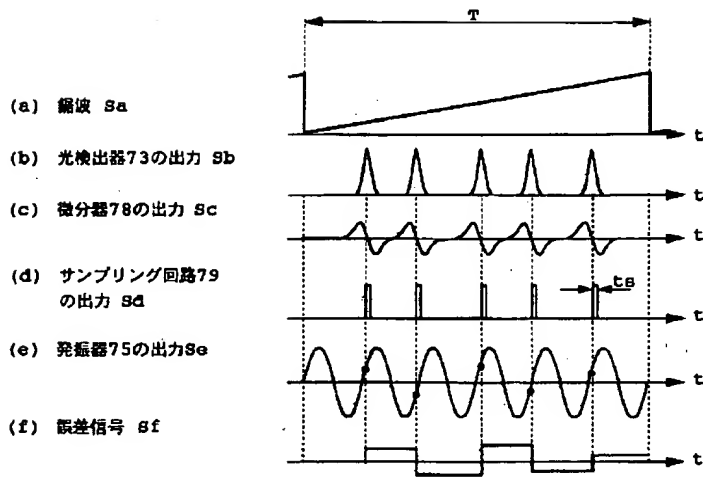
1 2 1 可変光フィルタ

131 光スイッチ

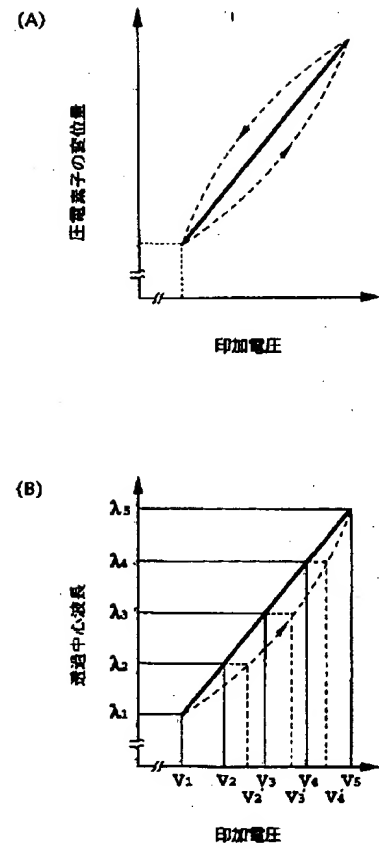
### 141 直交偏波合波手段

## 1 4 2 直交偏波分離手段

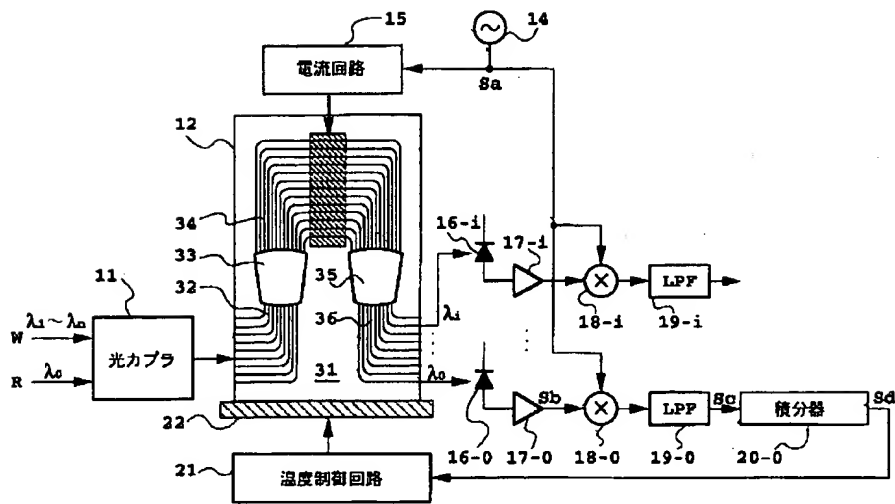
【図2】



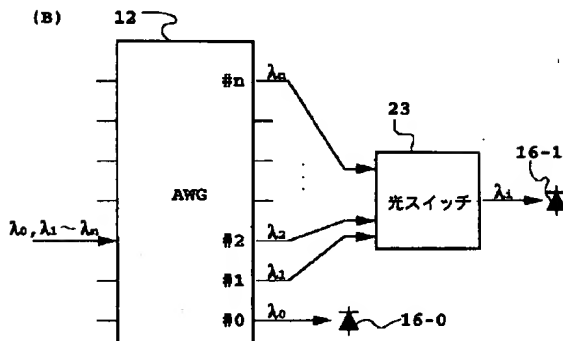
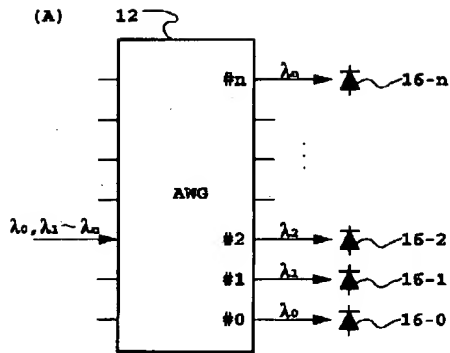
【図3】



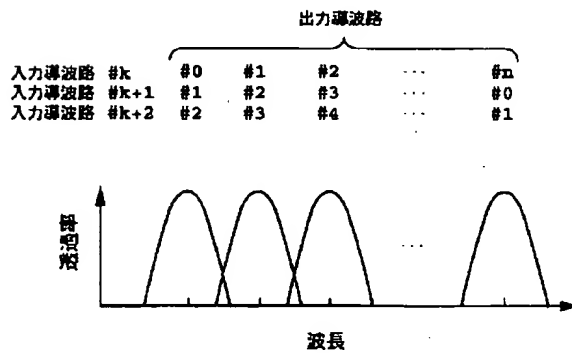
【図4】



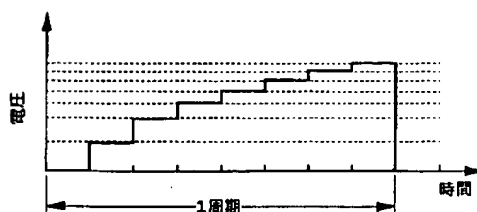
【図5】



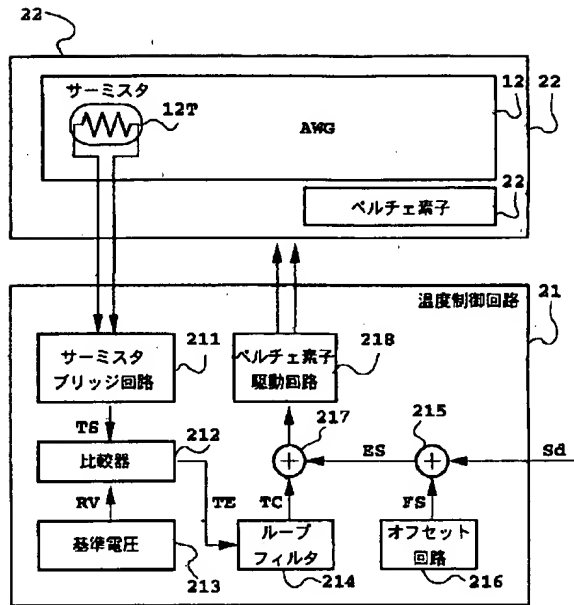
【図7】



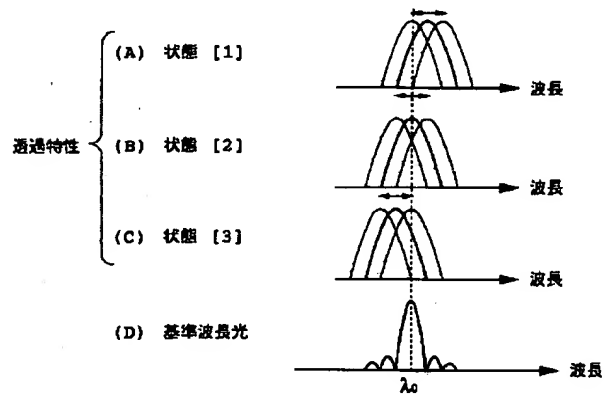
【図36】



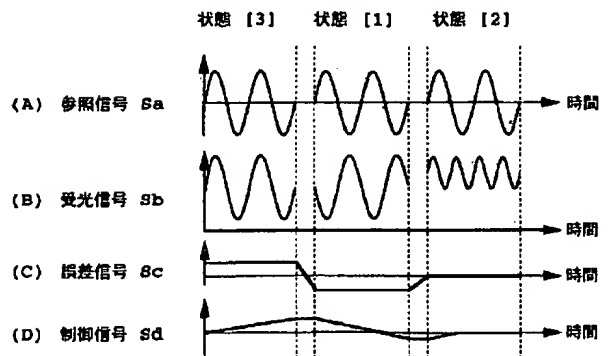
【図6】



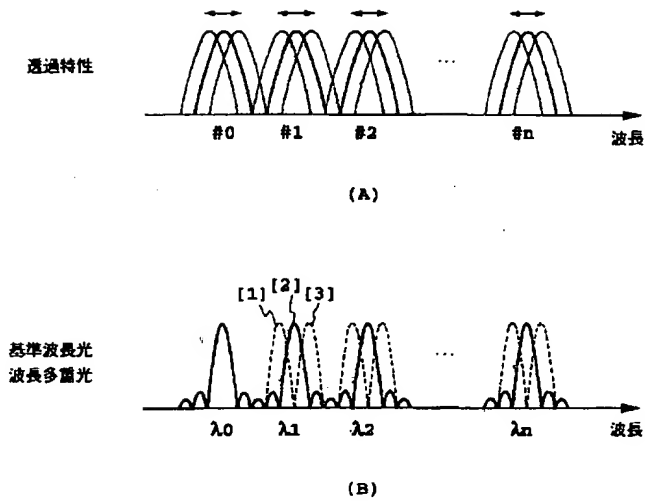
【図8】



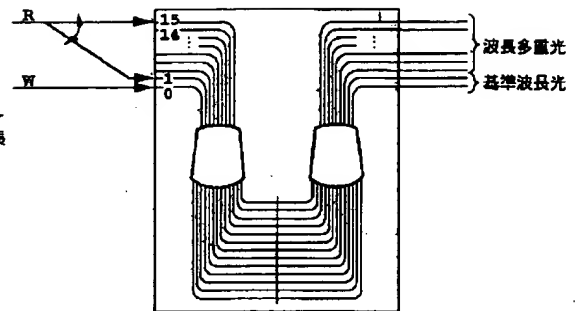
【図9】



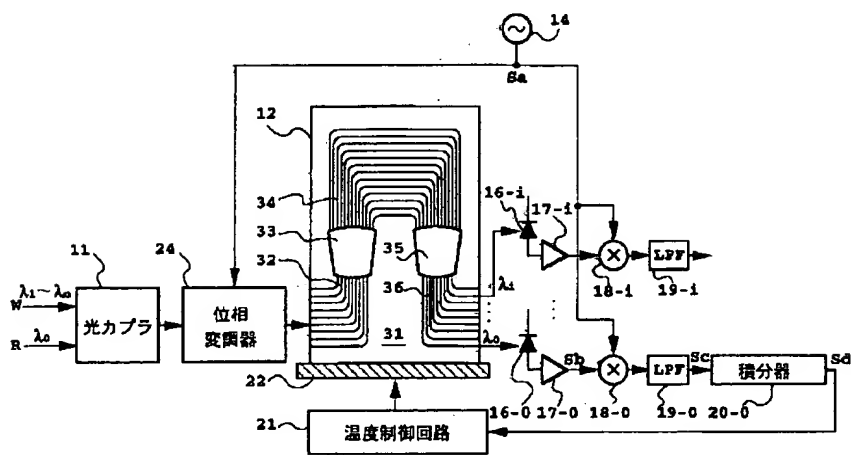
【図10】



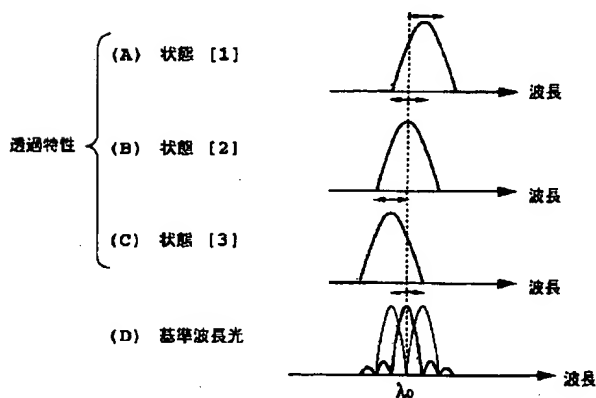
【図28】



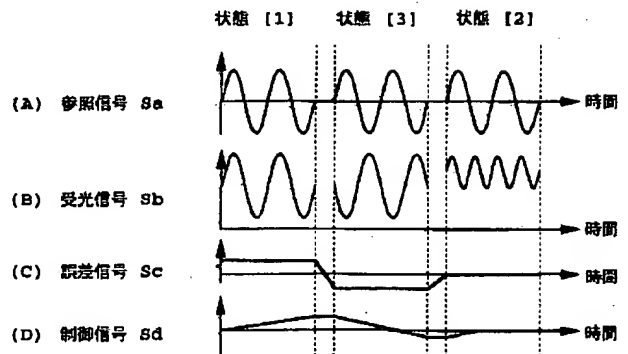
【図11】



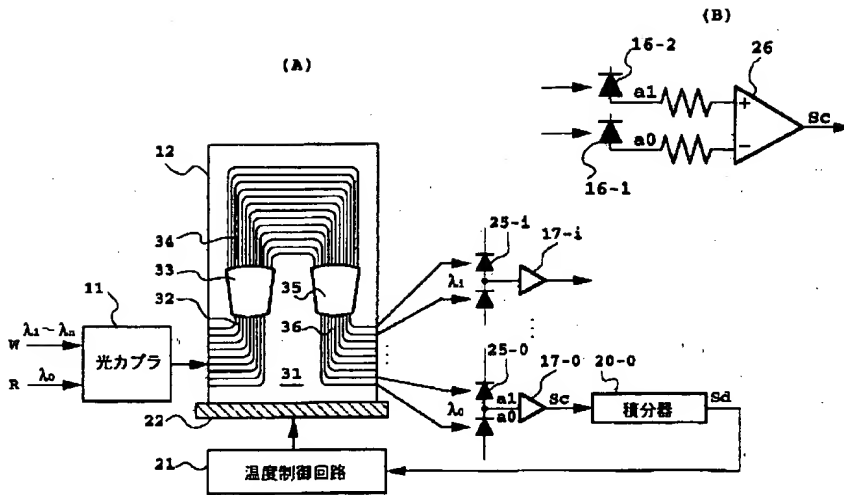
【図12】



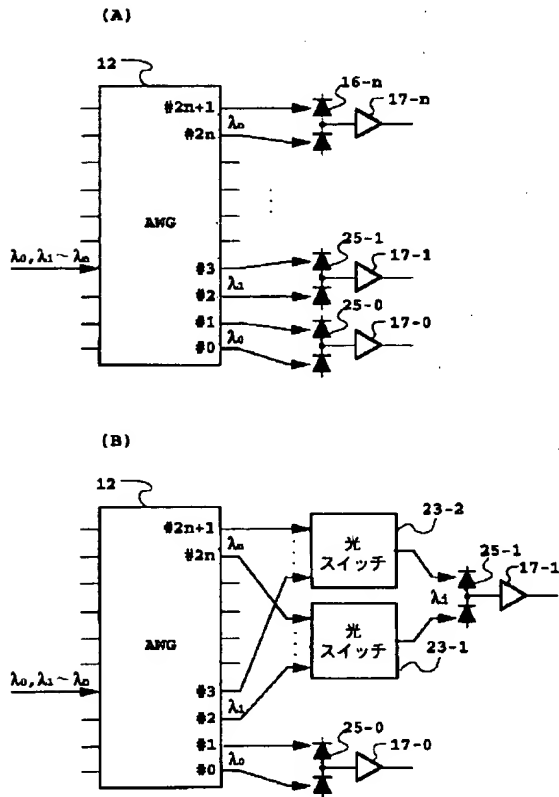
【図13】



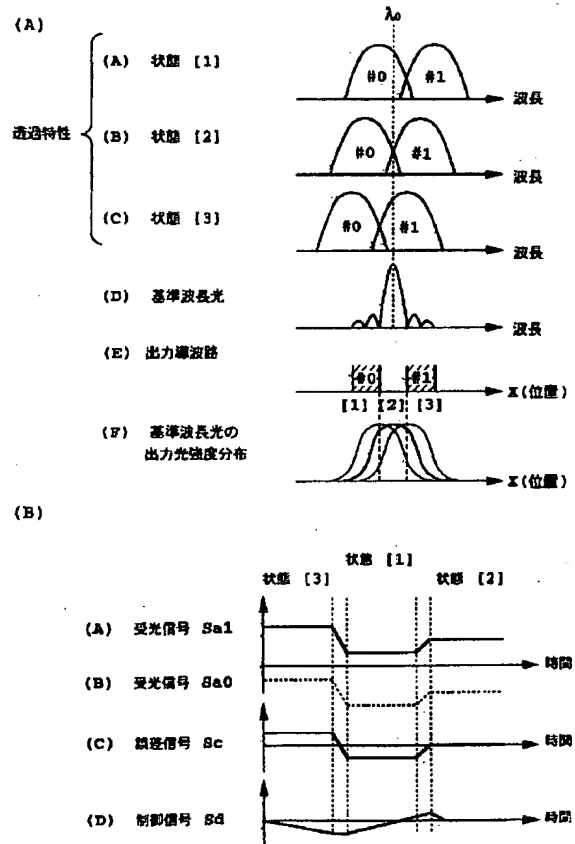
【図14】



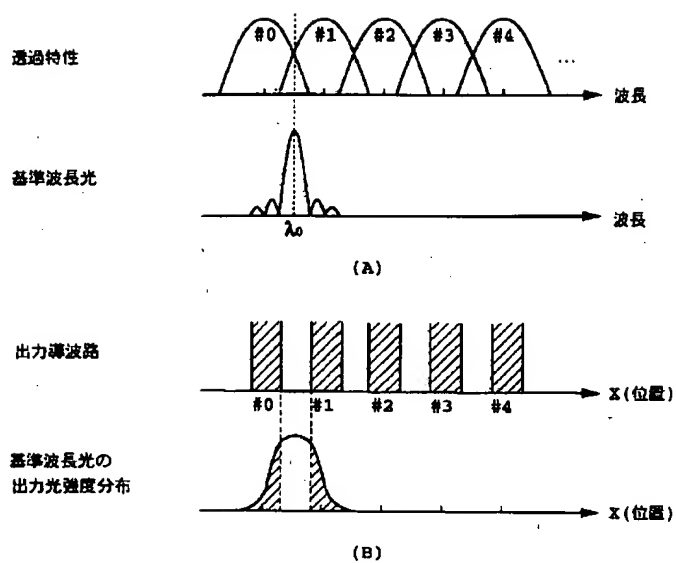
【図15】



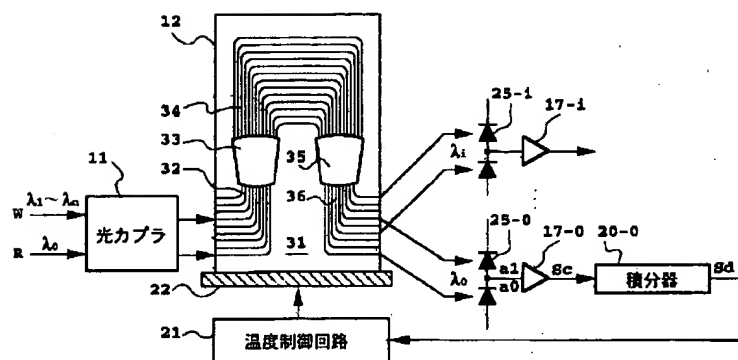
【図17】



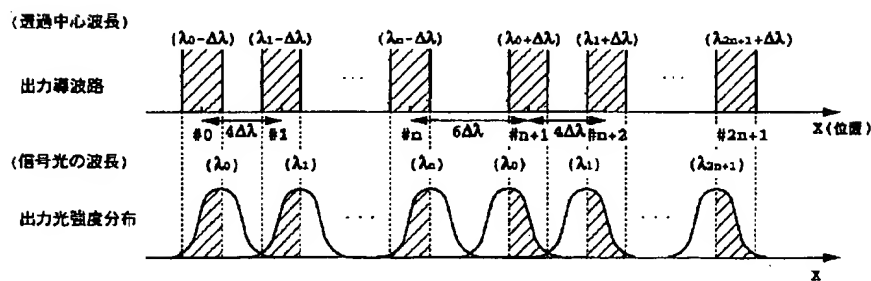
【図16】



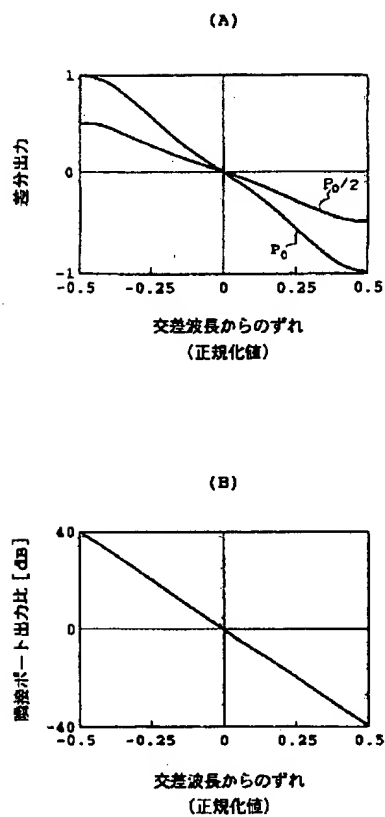
【図18】



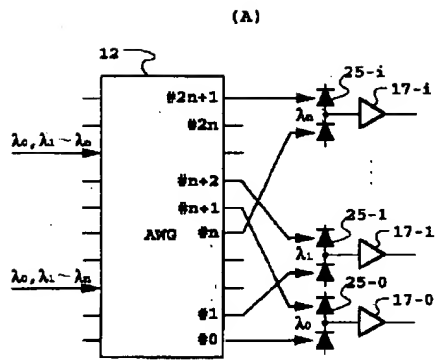
【図20】



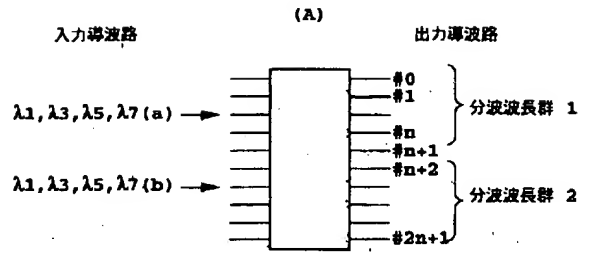
【図26】



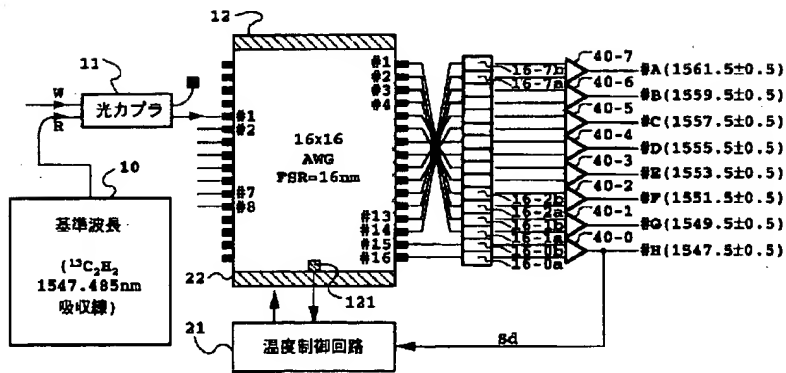
【図19】



【図21】

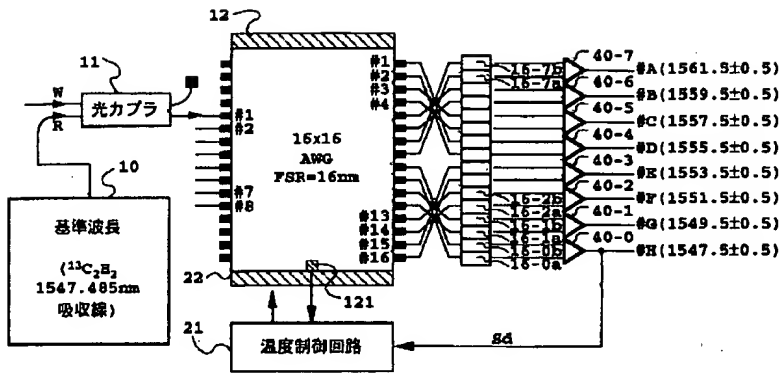


【図22】

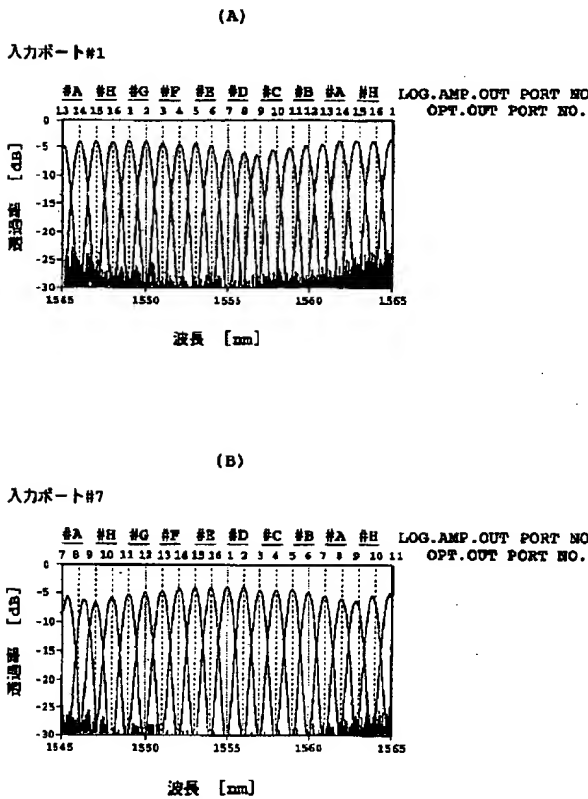




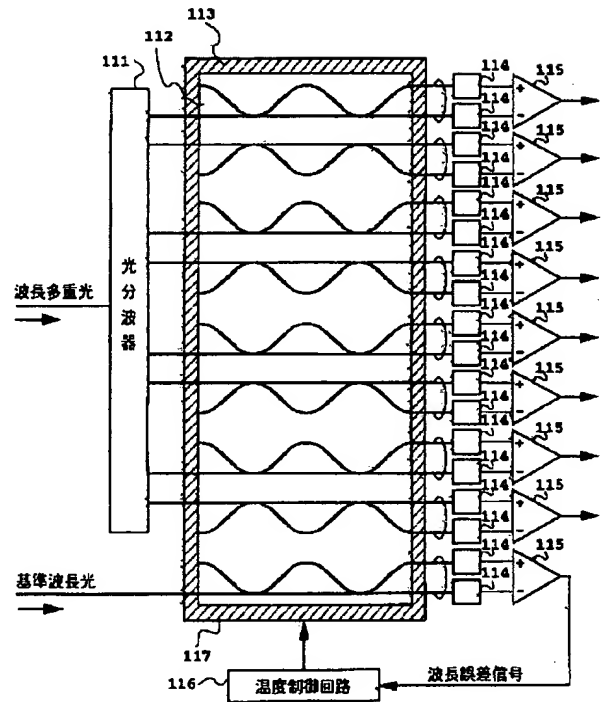
【図23】



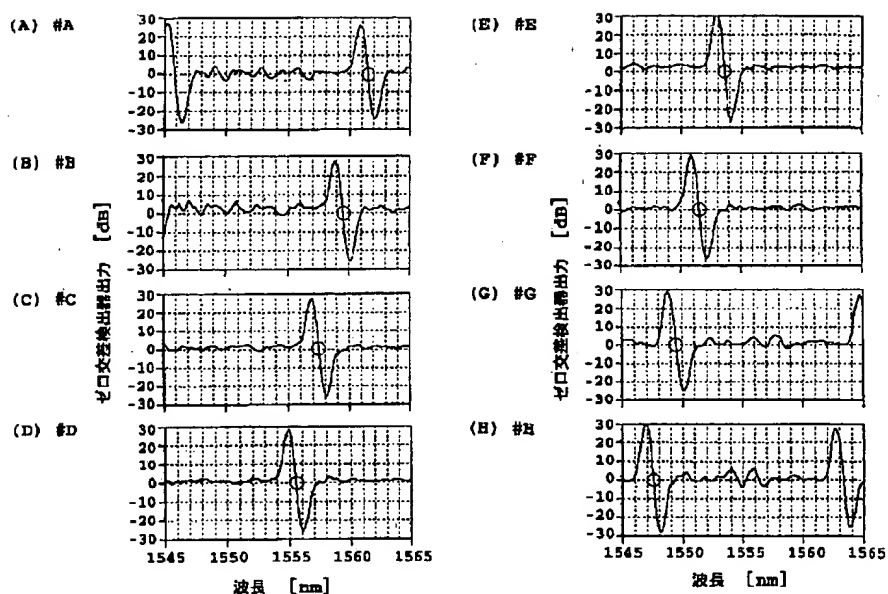
【図24】



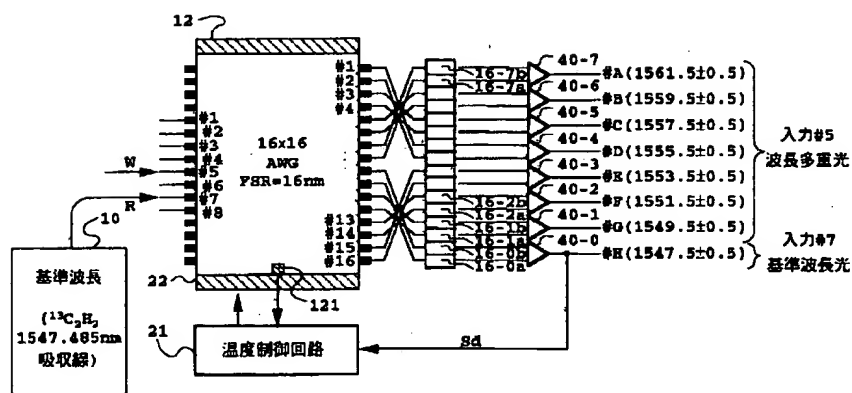
【図33】



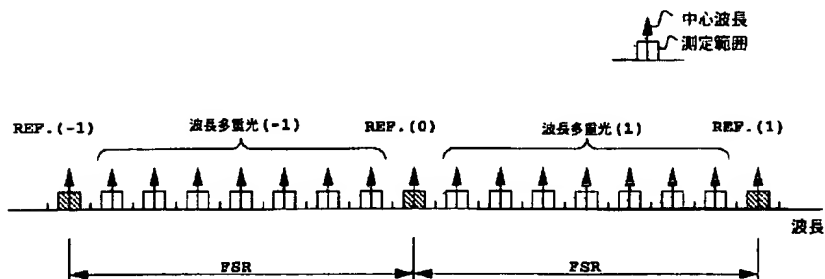
【図 25】



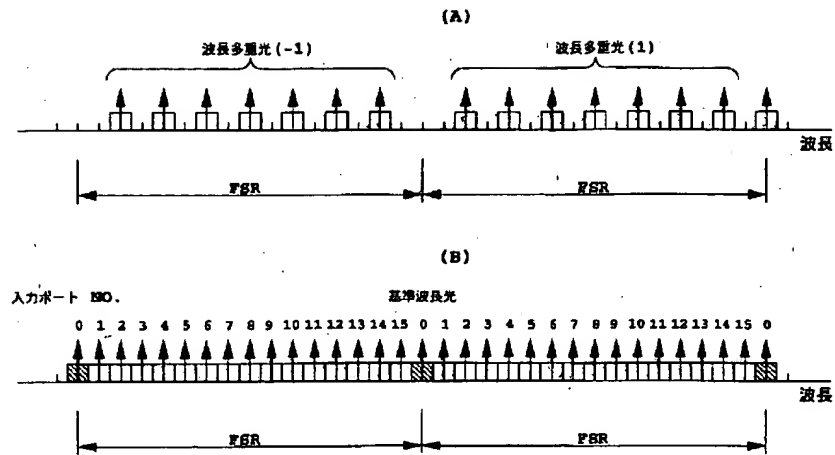
【図 27】



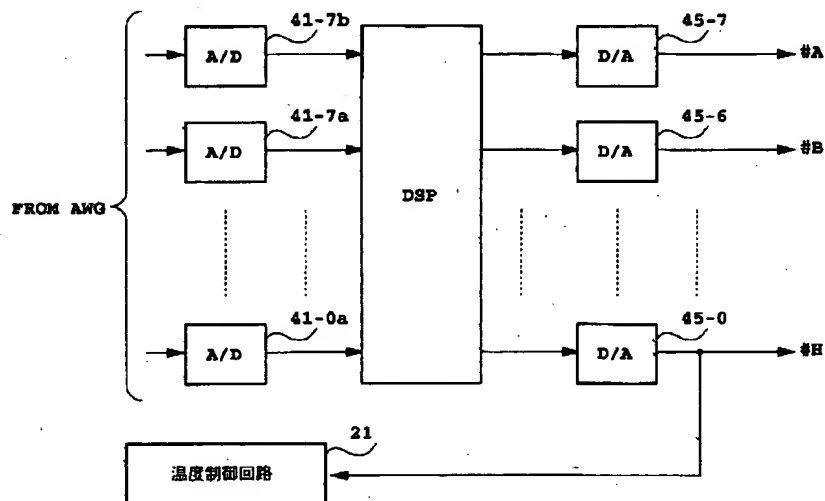
【図 29】



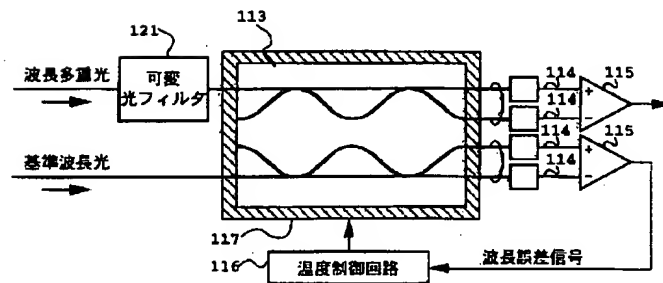
【図30】



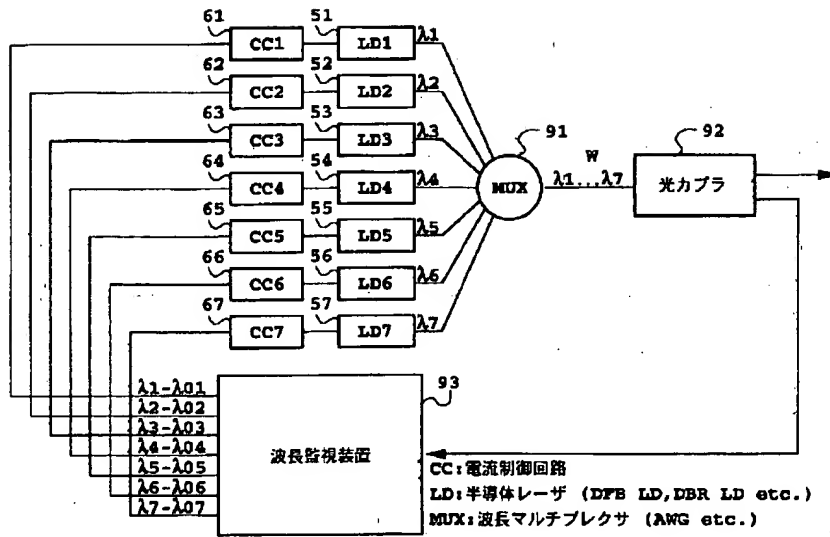
【図31】



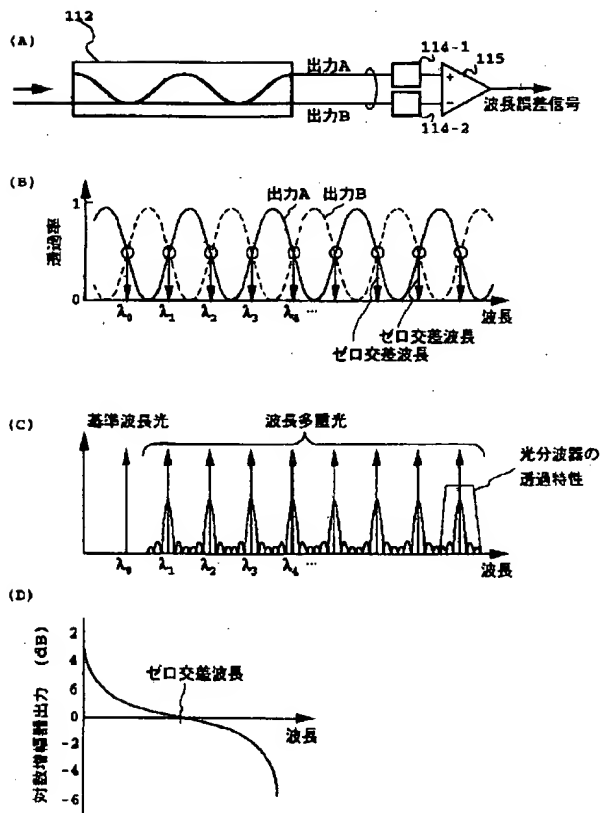
【図35】



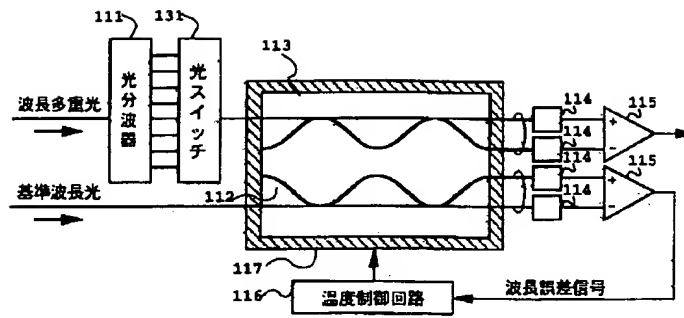
【図32】



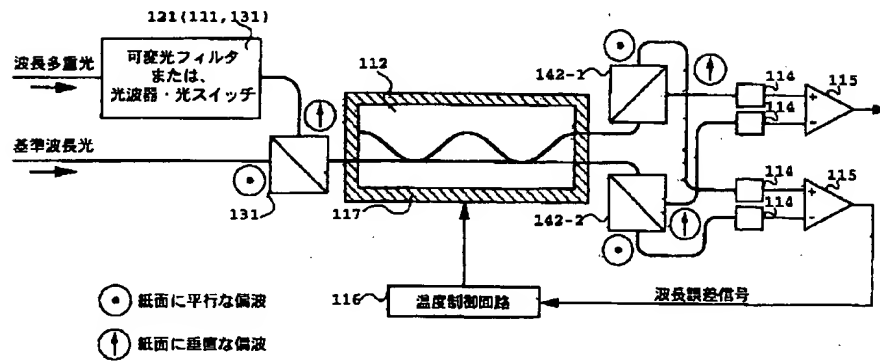
【図34】



【図37】



【図38】



フロントページの続き

(72)発明者 佐藤 健一  
東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内